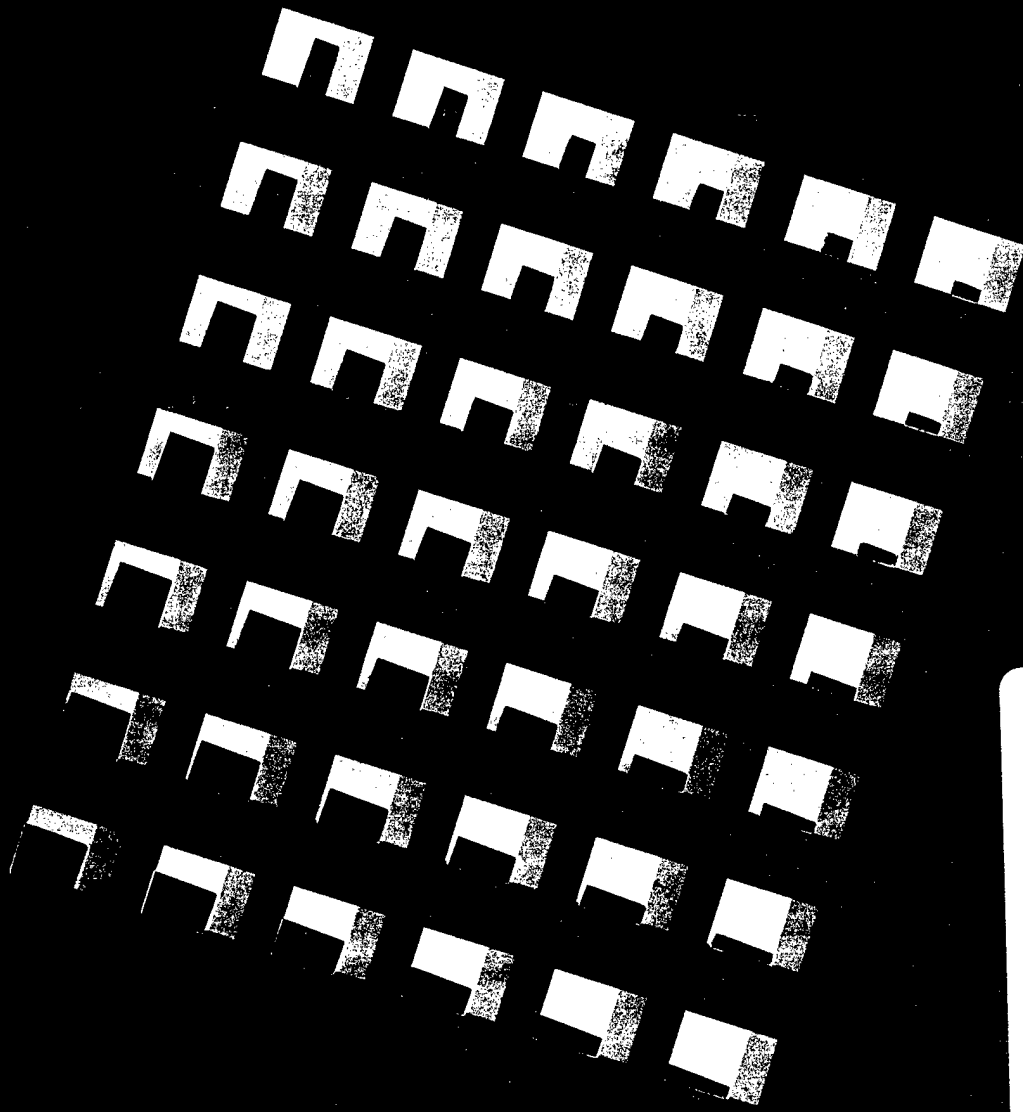


TNO-rapport

98-CMC-R0318

**Schokreductie door middel van flexibele kunststof
scheepsdekken.**

**Deelproject 1: De flexibiliteit van kunststof versus
stalen dekken; trilvormen.**



19980626 018



ONGERUBRICEERD

TNO-rapport

98-CMC-R0318

**Schokreductie door middel van flexibele kunststof
scheepsdekken.**

**Deelproject 1: De flexibiliteit van kunststof versus
stalen dekken; trilvormen.**

TNO Bouw

Datum 16 januari 1998

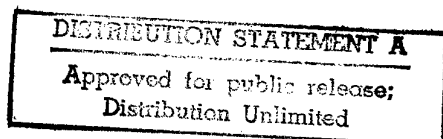
Auteur(s) Ir. J.M.J. Oostvogels
Ir. R. Regoord

JMJ
RR

Lange Kleiweg 5, Rijswijk
Postbus 49
2600 AA Delft

Telefoon 015 284 20 00
Fax 015 284 39 90

Opdrachtgever : Ministerie van Defensie
Directie Materieel KM
Afd. Maritieme Techniek
Postbus 20702
2500 ES 's-Gravenhage



Toezichthouder : TNO Defensieonderzoek

Rubricering : ONGERUBRICEERD
Vastgesteld door : Ir. J.A.A. Vaders
Vastgesteld d.d. : 10 januari 1998

Titel : ONGERUBRICEERD
Managementuittreksel : ONGERUBRICEERD
Rapporttekst : ONGERUBRICEERD

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoeksovereenkomsten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Opdrachtnummer : A95/KM/125
Projectnummer : 72376853
Goedgekeurd : Ir. G.T.M. Janssen
Aantal pagina's : 67 (totaal, excl. RDP en
distributielijst)

© TNO

DTIC QUALITY INSPECTED 1

ONGERUBRICEERD

TNO Bouw verricht onderzoek en geeft advies over
bouwvraagstukken, voornamelijk in opdracht van onder meer
de overheid, grote en kleine ondernemingen in de bouw,
toeleveringsbedrijven en branche-instellingen.



Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

MANAGEMENTUITTREKSEL

Titel: Schokreductie door middel van flexibele kunststof scheepsdekken.
Deelproject 1: De flexibiliteit van kunststof versus stalen dekken;
trilvormen.

Auteur(s): Ir. J.M.J. Oostvogels, Ir. R. Regoord

Datum: 16 januari 1998

Opdrachtnr.: A95/KM/131

Rapportnr.: 98-CMC-0318

Op wat langere termijn wordt verwacht dat kunststof in de bovenbouw van Marineschepen op grotere schaal toegepast zal gaan worden, onder meer om gewichtsreductie te bewerkstelligen.

Dekken in de bovenbouw van bijvoorbeeld fregatten zouden dan in Glasvezel Versterkt Polyester (GVP) uitgevoerd kunnen gaan worden.

Apparatuur opgesteld op scheepsdekken wordt veelal beschermd door middel van verende opstellingen teneinde tijdens en na onderwaterexplosies te kunnen blijven functioneren. Verwacht wordt dat een kunststof dek door zijn grotere flexibiliteit mildere schokbewegingen zal vertonen dan een stalen dek. Dan rijst de vraag of verdere reductie van de schok door middel van veren nog nodig zal zijn. Door speciale vormgeving van het dek met het oog op schokbelastingen zouden veren wellicht geheel achterwege kunnen blijven. De sterkte van het dek zelf tijdens schok is vanzelfsprekend evenzeer een punt van zorg.

Het project "Schokreductie door middel van flexibele scheepsdekken" beoogt door middel van een globale verkenning antwoorden op deze vragen te geven.

In het eerste deelproject zijn in nauw overleg met de Afdeling Maritieme Techniek van DMKM twee gangbare constructieve uitvoeringen van dekken vastgesteld. De eerste in staal, conform het Lucht en Commando fregat, het tweede in GVP conform het Tripartite en het KMV project.

Voor beide dekken zijn dezelfde hoofdafmetingen aangenomen en dezelfde dekbelastingen, waarvoor 4 verschillende verdelingen aangenomen zijn.

In dit rapport worden de eindige elementen modellen van de twee dekken vastgelegd en daarmee berekende eigentrillingsvormen en eigenfrequenties. Daaruit blijkt dat eigenfrequenties van het kunststof dek veelal tenminste een factor 2 lager liggen dan van het stalen dek.

Hierna volgende schokresponsieberekeningen aan dezelfde modellen zullen leren in welke mate de schokbewegingen gereduceerd worden.

INHOUD

MANAGEMENTUITTREKSEL.	2
1 INLEIDING.	4
2 OMSCHRIJVING VAN DE DEKKEN.	5
3 DE STIJFHEIDSEIGENSCHAPPEN VAN GVP.	6
4 DE INVLOED VAN RANDVOORWAARDEN OP DE GROOTST OPTREDENDE BUIGENDE MOMENTEN EN ZAKKINGEN TEN GEVOLGE VAN EEN GELIJKMATIG OVER HET WEBSPANT VERDEELDE BELASTING.	7
5 EEN CONTROLE OP DE DIMENSIONERING VAN DE MAXIMALE DEKLAAT.	8
5.1 De webspanten in het stalen dek.	
5.2 De webspanten in het GVP dek.	
5.3 De beplating van het stalen dek.	
5.4 De beplating van het GVP dek.	
5.5 Additionele belasting ten gevolge van het eigen gewicht.	
6 DE EINDIGE ELEMENTENMODELLEN.	10
6.1 Algemeen beeld	
6.2 De randvoorwaarden	
6.3 De drie modellen	
6.4 De massaverdeling	
7 DE BEREKENDE TRILVORMEN BEHOREND BIJ DE DRIE MODELLEN.	13
8. BESCHOUWINGEN EN CONCLUSIES.	21
FIGUREN.	24
LITERATUUR.	67

1. INLEIDING

Om schokken ten gevolge van onderwaterexplosies zodanig te reduceren dat ze doorstaan kunnen worden door kwetsbare apparatuur staan traditionele verende opstellingen voor de afzonderlijke apparaten ter beschikking. Grote verend opgestelde vloeren vormen soms een andere mogelijkheid waarvan in toenemende mate gebruik wordt gemaakt.

Bij flexibele kunststof scheepsdekken, zoals bedoeld in het kader van dit project, moet men denken aan dekken die zo flexibel in kunststof zijn uitgevoerd dat het dek zelf voor de schokreductie zorgt, zodat de apparaten zonder tussenkomst van veren direct op het dek gemonteerd kunnen worden.

De KM verwacht dat de bovenbouw van schepen in de toekomst van kunststof zal worden uitgevoerd. Daarvoor zijn twee belangrijke redenen: gewichtsbesparing en de wens om de bovenbouw qua stijfheid te ontkoppelen van de stalen romp.

Rekening houdend met het vooruitzicht dat in de bovenbouw dekken in kunststof moeten worden uitgevoerd, vormen de sterkte van deze dekken en de schokreductie die ze kunnen bieden een apart aandachtsgebied.

Duidelijk moge zijn dat kunststof dekken in de toekomst zeker niet toegepast gaan worden met het primaire doel schokreductie te bieden. De keuze voor dit materiaal met zijn geringe rek bij breuk en de dikwijls problematische verbidingsconstructies ligt voor dat doel niet direct voor de hand.

Het doel van het project "Schokreductie door middel van flexibele kunststof scheepsdekken" wordt als volgt omschreven:

Onderzocht zal moeten worden of het mogelijk is een scheepsdek zodanig vorm te geven in kunststof dat de schokbewegingen van een zo groot mogelijk deel van het dek voldoende gereduceerd worden om apparatuur direct vast op het dek te kunnen monteren en waarbij bovendien de sterkte van het dek gewaarborgd blijft.

Het totale project wordt gesplitst in drie fasen:

Eerste fase: Vergelijking staal versus Glasvezel Versterkt Polyester (GVP).

Daarbij zal worden nagegaan in hoeverre een traditioneel uitgevoerd GVP dek door zijn grotere flexibiliteit meer schokreductie biedt dan een in staal uitgevoerd dek.

Het nu voorliggende rapport betreft alleen nog de keuze van deze twee dekken, de modellering en de eigentrillingsvormen.

Tweede fase: GVP dek met verlopende stijfheid.

Een verdere reductie moet doelbewust met een daartoe geschikt ontwerp verwezenlijkt worden. Daartoe worden orienterende berekeningen uitgevoerd, waarbij het dek rondom voorzien is van een flexibele dekstrook.

Derde fase: Vormgeving flexibele dekstrook.

Het op een creatieve manier construeren van deze dekstrook in kunststof vormt het moeilijkste en meest cruciale deel van het project.

Voor een vollediger omschrijving van het project wordt verwezen naar [1].

2. OMSCHRIJVING VAN DE DEKKEN

De dekconstructies zijn gekozen in nauw overleg met de KM, zodat sprake is van typisch voorkomende uitvoeringen die voldoen aan scheepsbouwkundige sterktecriteria.

Fig. 1 laat het bovenaanzicht zien van het dek (zowel van toepassing op het stalen als op het GVP dek) met daarin aangegeven de plaats van de dwarsscheepse verstijvers (webspanten).

Daarbij geldt:

- afstand tussen de webspanten 1.8 m.
- dekbreedte $l = 7.2$ m
- deklengte 14.4 m
- de dekrand is rondom ingeklemd verondersteld
- de dekbelasting bedraagt 700 kg/m^2 , ofwel 6865 N/m^2 . Dat is de maximale belasting, veroorzaakt door het eigen gewicht van apparatuur e.d. (exclusief de massa van het dek zelf). Op deze belasting is de plaatdikte en de keuze van de profielen afgestemd.

Bij het GVP dek is het niet gebruikelijk om langsspanten in te bouwen.

Bij het stalen dek is dat wel gebruikelijk en zijn met een steek van 0.6 m langsspanten aanwezig. Bij de eerste orienterende trillingsberekeningen aan het stalen dek zijn deze langsspanten nog niet aanwezig. Vervolgens werden ze toegevoegd en werd het effect daarvan op de trilvormen vastgesteld.

Door de KM zijn de profielen van het webspant en de plaatdikten opgegeven zoals aangeduid in de figuren 2 en 3 voor resp. het stalen en het GVP dek.

De volgende grootheden voor het webspant als "Timoshenko beam" werden door ons berekend, waarbij uitgegaan werd van een meedragende plaatbreedte van 1.36 m (de waarde volgens Lloyds Register zoals die eerder ook verwerkt werd in eerdere berekeningen [2] aan dek-vloer combinaties):

	Stalen dek	GVP dek
Oppervlak doorsnede (met een plaatbreedte van 1.36 m)	1.2095E-02 m ²	3.229E-02 m ²
Oppervlak doorsnede (met een plaatbreedte van 1.8 m)	1.5175E-02 m ²	3.845E-02 m ²
Ligging neutrale lijn, grootste afstand e tot uiterste vezel	0.204 m	0.179 m
Traagheidsmoment I	6.8034E-05 m ⁴	25.465E-05 m ⁴
Weerstandsmoment $W = I/e$	0.333E-03 m ³	1.422E-03 m ³

Bij die berekeningen aan het stalen dek waar ook de langsspanten aanwezig zijn is sprake van een HP 100x7 profiel.

3. DE STIJFHEIDSEIGENSCHAPPEN VAN GVP

De dekplaat en de hoedprofielen zijn opgebouwd gedacht uit glasvezel versterkt polyester met een glasgewichtspercentage van ongeveer 50 %, zoals dat ook de streefwaarde was bij de Tripartite mijnenjagers en het ontwerp Kustmijnenvegers. Het laminaat wordt opgebouwd gedacht uit lagen geweven roving. We nemen aan dat de schering en/of inslagrichting steeds evenwijdig loopt aan het webspant.

Ook wordt verondersteld dat er geen verschil bestaat tussen de stijfheden van het laminaat in deze twee hoofdrichtingen die we aanduiden met de indices 1 en 2.

Bij vroegere berekeningen [3] werden de volgende moduli gebruikt: $E_1 = 17000 \text{ N/mm}^2$ en $E_2 = 15000 \text{ N/mm}^2$. We gaan nu uit van $E_1 = E_2 = 16000 \text{ N/mm}^2$. Daarmee zijn ook de constanten van Poisson gelijk geworden, d.w.z. $\nu_{12} = \nu_{21} = 0.16$. Bij die vroegere berekeningen [3] werd in eerste instantie uitgegaan van een glijdingsmodulus $G_{12} = 3500 \text{ N/mm}^2$. Later werd een nauwkeuriger methode ontwikkeld om deze modulus te bepalen [4]. Gevonden werd $G_{12} = 2760 \text{ N/mm}^2$. Daarmee werd toen een goede overeenstemming bereikt tussen de gemeten en de berekende doorbuiging van een hoedprofiel tijdens een driepuntsbuigproef. We gaan nu uit van $G_{12} = 2800 \text{ N/mm}^2$.

Ter vergelijking memoreren we hier nog enige moduli zoals die gehanteerd werden bij het Kustmijnenvegerproject. In het betreffende sterktebestek [5] is sprake van een E modulus op buiging van 12000 N/mm^2 , van een Poisson coefficient van 0.15 en van een G-modulus van 2500 N/mm^2 . Waarbij vermeld moet worden dat deze waarden gelijk zijn aan het gemiddelde van een aantal meetwaarden verminderd met twee maal de standaardafwijking. Die standaardafwijkingen zijn ons niet bekend. Deze vermindering lijkt ons voor de huidige studie niet juist. Gestreefd wordt naar een grote flexibiliteit van het dek en het zou dan verkeerd zijn alvast uit te gaan van deze lage weinig voorkomende moduli.

Overigens worden de waarden van de moduli nog door een groot aantal factoren beïnvloed, o.a. de eigenschappen van de gekozen hars, afwijkingen in glasgewichtspercentage en de wijze van belasten (trek, druk, buiging).

Bij deze oriënterende studie is het niet zinvol om al deze aspecten er al bij te betrekken.

4. DE INVLOED VAN RANDVOORWAARDEN OP DE GROOTST OPTREDENDE BUIGENDE MOMENTEN EN ZAKKINGEN TEN GEVOLGE VAN EEN GELIJKMATIG OVER HET WEBSPANT VERDEELDE BELASTING

Er is in eerste instantie voor gekozen om de randen als ingeklemd te beschouwen. Immers aan de andere zijde van een ondersteunend langsschot zet het dek zich voort. Dat aanliggende dekdeel zal tijdens schok een rotatie tegenwerken, waardoor, als de schokresponsie precies symmetrisch zou zijn, als het ware een inklemming optreedt. Als het dek tegen de buitenhuid aan ligt loopt het dwarsspant daarin door, waardoor een grote weerstand tegen rotatie zal optreden. Het zal duidelijk zijn dat allerminst van een perfecte inklemming sprake zal zijn. Het werkelijke gedrag zal soms wellicht dichter liggen bij dat van een oplegging. Of misschien moet later geconcludeerd worden dat bij de constructieve uitvoering van de dekranden juist gestreefd moet worden naar een oplegging. Daarom is alvast hier een vergelijking opgenomen van de dwarskrachten en buigende momentenlijn in een dwarsspant dat aan de uiteinden ingeklemd, (Fig. 4), dan wel opgelegd is, (Fig. 5). Het verloop van de dwarskrachten is identiek, maar bij een oplegging is het grootste buigend moment, in het midden, 50 % groter dan het grootste buigend moment bij een ingeklemd balk, aan de rand.

Voor het verloop van de zakking w , veroorzaakt door buigvervorming en eveneens in de figuren 4 en 5 aangeduid op een afstand x van het uiteinde, geldt

bij een inklemming:
$$w = \frac{q}{12 EI} \left(\frac{1}{2} l^2 x^2 - lx^3 + \frac{1}{2} x^4 \right)$$

bij een oplegging :
$$w = \frac{q}{12 EI} \left(\frac{1}{2} l^3 x - lx^3 + \frac{1}{2} x^4 \right)$$

Het verschil in zakking is aanzienlijk, in het midden een factor 5.

Voor het verloop van de zakking w veroorzaakt door afschuifvervorming geldt, ongeacht of het een opgelegde of een ingeklemd balk betreft:

$$w = \frac{q}{AG} \left(\frac{1}{2} lx - \frac{1}{2} x^2 \right)$$

Daarbij is A het afschuifoppervlak en G de glijdingsmodulus.

5. EEN CONTROLE OP DE DIMENSIONERING VAN DE MAXIMALE DEKLAAT

5.1 De webspanten in het stalen dek.

De gelijkmatig verdeelde belasting q bedraagt $1.8 \times 6865 = 12357 \text{ N/m}$.

Grootste buigspanning in het spant aan de uiteinden 160 MPa .

De vloeigrens van het staal ligt bij ongeveer 350 MPa .

Maximale zakking van het spant 6.05 mm ten gevolge van alleen buiging.

Voor de zakking ten gevolge van afschuiving is aangenomen dat het afschuifoppervlak gevormd wordt door de lijfplaat van het profiel, ofwel $0.007 \times 0.225 \times 5/6 = 1.31 \text{ E-03 m}^2$.

Met $G = 82.0 \text{ E09 N/m}^2$ resulteert dit in een grootste zakking in het midden van het spant van 0.74 mm

5.2 De webspanten in het GVP dek.

Bij een zelfde belasting q bedraagt de grootste buigspanning in het spant (hoedprofiel) aan de uiteinden 37.5 MPa .

De treksterkte van het laminaat is van velerlei factoren afhankelijk, maar zou in de orde van grootte van 230 MPa kunnen liggen.

De maximale doorbuiging in het midden van het spant is 21.22 mm ten gevolge van alleen buigingsvervorming.

Voor de zakking ten gevolge van afschuiving is aangenomen dat het afschuifoppervlak gevormd wordt door de opstaande randen van het hoedprofiel, ofwel $2 \times 0.02 \times 0.235 \times 5/6 = 7.83 \text{ E-03 m}^2$. Met $G_{12} = 2.8 \text{ E09 N/m}^2$ resulteert dit in een grootste zakking in het midden van het spant van 3.65 mm .

Vergeleken met het stalen profiel is de zakking ten gevolge van buiging ongeveer 3.5 keer zo groot en de zakking ten gevolge van afschuiving ongeveer 5 keer zo groot. De afschuifvervorming is relatief iets belangrijker.

De maximale totale zakking van het GVP profiel is ongeveer 25 mm . Dat is minder dan een soms gehanteerd ontwerpcriterium (bijvoorbeeld voor de kustmijnenvegers), waarbij een maximale waarde van 1 % van de overspanning (hier dus 72 mm) niet overschreden mag worden.

Als overigens geen sprake zou zijn van een inklemming maar van een oplegging van het zelfde GVP balkprofiel, dan zou de zakking in het midden $5 \times 21.22 + 3.65 = 109.75 \text{ mm}$ geweest zijn, meer dus dan toelaatbaar volgens genoemd criterium. De achtergrondinformatie voor dit criterium ontbreekt ons. Bij een oplegging zou de maximale buigspanning 50 % groter zijn, dus 56.3 MPa bedragen. Daarmee is de veiligheidsfactor ten opzichte van de vermoedelijke breukgrens gereduceerd tot 4.1. Soms gebezigde veiligheidsfactoren zijn 5.0 voor de primaire structuur en 3.0 voor de dimensionering van de bovenbouw en andere secundaire structuren (eveneens ontleend aan de ontwerpvoorschriften Kustmijnenvegers). Ook hier ontbreekt ons de achtergrondinformatie.

5.3 De beplating van het stalen dek.

Als we, bij afwezigheid van langsspanen, kijken naar een plaat met een breedte van 1.0 m en een lengte l die gelijk is aan de webspantafstand van 1.8 m dan is, bij een inklemming ter plaatse van de spanen de grootste buigspanning gelijk aan $ql^2 / 2t^2$, waarbij t de eerder genoemde plaatdikte is van 7 mm en q de dekbelasting van 6865 N/m². Dit resulteert in een buigspanning van 227 MPa.

5.4 De beplating van het GVP dek.

Voor deze zelfde dekbelasting en een plaatdikte van 14 mm komen we op een buigspanning van 56.7 MPa.

De maximale doorbuiging is gelijk aan $ql^4 / 384 EI = 0.0512$ m.

Dat is aanzienlijk meer dan de plaatdikte die soms als maximum waarde genoemd wordt.

Deze grote flexibiliteit van de dekbeplating zal dus ook zeker meegenomen moeten worden in de modellering van het dek t.b.v. de schokresponsie berekeningen.

5.5 Additionele belasting ten gevolge van het eigen gewicht

Behalve de payload van 700 kg/m² moet het dek natuurlijk ook zijn eigen gewicht kunnen dragen. Deze additionele belasting is betrekkelijk gering en nog niet meegenomen bij de hierboven berekende spanningen.

Voor GVP gaan we uit van een dichtheid van 1700 kg/m³. Dat is iets lager dan indertijd aangenomen bij een trillingsberekening van een midscheeps compartiment van de mijnenjagers [6], waar 1760 kg/m³ werd gehanteerd. In feite varieert de dichtheid van GVP nog al met de gekozen harssoort. Volgens opgave in [7] tussen 1200 en 1750 kg/m³. De gekozen waarde van 1700 kg/m³ is dus een schatting.

Voor het GVP dek zoals gedefinieerd in hoofdstuk 2 is daarmee het gemiddeld eigen gewicht 36.3 kg/m² dekoppervlak.

Met een dichtheid van 7800 kg/m³ voor staal is het gemiddelde dekgewicht voor het in hoofdstuk 2 gedefinieerde stalen dek 65.7 kg/m² indien geen langsspanen aanwezig zijn en 77.1 kg/m² indien wel langsspanen aanwezig zijn.

Het GVP dek weegt dus ongeveer de helft van het stalen dek.

De eerder berekende spanningen en doorbuigingen van het dwarsspan worden dus in feite nog ongeveer 10 % groter bij de stalen uitvoering en 5 % groter bij de GVP uitvoering (uitgaande van 700 kg/m² deklast).

6. DE EINDIGE ELEMENTEN MODELLEN

6.1 Algemeen beeld

Er zijn door TNO trilvormen (eigenmodes) berekend met behulp van de eindige elementen methode. Daartoe is gebruik gemaakt van het DIANA-rekenpakket en van FEMGEN en FEMVIEW als pre- en postprocessor.

Er zijn drie modellen opgezet, twee voor de beschrijving van een stalen deksectie (met en zonder langsverstijvers) en één voor de weergave van de GVP deksectie.

Met een "deksectie" wordt hier bedoeld: een representatieve dwarsscheepse strook van het dek, 7.2 bij 1.8 meter, in het midden ondersteund door een webspant. De figuren 2 en 3 vormen de zijaanzichten van zo'n deksectie (overigens niet op de volle breedte).

De drie geometrieën zijn gemodelleerd in schaalementen van het type Q20SF (Quadrilateraal, 20 vrijheidsgraden, Shell, Flat).

Er is uitgegaan van de gegevens volgens de figuren 2 en 3. Daarbij is het netwerk van knopen in het hart van het materiaal gesitueerd. De dikte van de elementen is in overeenstemming gebracht met deze figuren.

6.2 De randvoorwaarden.

De twee eindvlakken van een sectie horen aan de scheepshuid of aan een langsschot bevestigd te zijn, waardoor hun beweeglijkheid zeer beperkt is. In het model zijn van deze eindvlakken alle translaties en rotaties dan ook onderdrukt.

Voor de lange zijden van het model zijn de constraints als volgt:

- de translatie langsscheeps is onderdrukt, waardoor alle secties naadloos aansluiten.
- de rotatie om de lange zijde is onderdrukt.

Als gevolg van de laatste randvoorwaarde worden alleen die oplossingen gegenereerd waarbij alle spanten tegelijk omhoog of omlaag gaan. De modes waarbij opeenvolgende spanten tegengestelde bewegingen maken zullen namelijk niet aangestoten worden door een onderwaterexplosie.

6.3 De drie modellen.

1. Het stalen model zonder ribben.

De meest eenvoudige opzet is die waarbij eenvoudig een dekplaat op een webspant is bevestigd. Het model is opgebouwd uit 288 schaalementen.

Gegevens: $E = 2.1 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$; constante van Poisson = 0.29; dichtheid = 7800 kg/m^3 .

2. Het stalen model met ribben.

De stalen deksectie werd uitgebreid gedacht met langsverstijvers van platbulbstaal met het profiel HP100*7. De steek tussen de langsverstijvers is 0.6 meter.

Deze "ribbe" is gemodelleerd in dezelfde schaalementen, waarbij de hoogte (116.75 mm) en dikte (6.5 mm) zorgvuldig zijn gekozen om in doorsnede-oppervlak en in traagheidsmoment een zo goed mogelijke overeenstemming te bereiken met het echte profiel. Figuur 6 biedt een indruk van het model. Het is opgebouwd uit 376 schaalementen.

3. Het GVP-model.

Het composietmodel heeft geen langsverstijvers. De doorsnede van het spant heeft hier de vorm van een hoed. Zie Fig 3. In de schematisering is de hoed zuiver rechthoekig geworden. Een bijzonderheid van het materiaal is de orthotropie. De hoofdrichtingen daarvan zijn samenvallend gedacht met het assenstelsel van de deksectie, met dien verstande dat de ene lage waarde van de E-modulus geldt in de richting loodrecht op de schaalementen.

Enkele gegevens: drie E-moduli: 16, 16 en $5 \cdot 10^9$ N/m²; Poisson = 0.16 (alle richtingen);
G-mod $2.8 \cdot 10^9$ N/m² (alle richtingen); dichtheid = 1700 kg/m³.

Figuur 7 biedt een indruk van het model. Het is opgebouwd uit 336 schaalementen.

6.4 De massaverdeling.

Weliswaar is het dek ontworpen voor een maximale belasting van 700 kg/m², maar een dergelijke hoge belasting veroorzaakt door het eigen gewicht van apparatuur, scheidingswandjes, enzovoorts, is zelden of nooit aanwezig, althans niet over het gehele dekoppervlak.

Betrouwbare statistisch onderbouwde informatie over werkelijk aanwezige massa is niet direct beschikbaar.

Bij eerder door TROUWBORST uitgevoerde schokberekeningen aan een compartiment van het LCF was sprake van aanwezige dekbelastingen van 160, 310 en 220 Kg/m² op resp. het F-, G- en H-dek [8]. Aanzienlijk minder dus.

Bij de berekening van de eigentrillingsvormen van het dek is uitgegaan van een dekbelasting van 200 kg/m². De belasting op de representatieve sectie (1.8 * 7.2 m) van het dek wordt dan 2592 kg.

Het elementenmodel van de deksectie telt in lengterichting 25 knooppunten (24 elementen, zie Fig 8). Per doorsnede is dus sprake van een deklast van $2592/24 = 108$ kg.

In de uitgevoerde eigenwaardeberekeningen zijn vier alternatieve massaverdelingen (MVD's) beschouwd:

MVD 0. Hier is de deklast afwezig en telt alleen het eigen gewicht van de deksectie.

MVD 1. 108 kg is geconcentreerd boven het webspant in het hart van de sectie. De massaconcentratie is rechthoekig verdeeld over een breedte van 675 mm. Het eigen gewicht van de sectie blijft in alle gevallen bovendien meetellen.

MVD 2. 108 kg deklast is uniform verdeeld over de deksectie, 1800 mm breed.

MVD 3. 108 kg is aangebracht op de dekplaat, op enige afstand van het spant. Op beide buitenkanten van de deksectie is de massa rechthoekig verdeeld over 337.5 mm.

De hier genoemde massaverdelingen gelden zowel voor de stalen deksectie als voor de GVP-versie. Zij zijn afgebeeld in Fig 9.

De totale werkzame massa per doorsnede is nu samengesteld als volgt:

GVP-deksectie:	dekmasa 19.6 kg plus deklast 108 kg.
Stalen deksectie zonder ribben:	dekmasa 35.5 kg plus deklast 108 kg.
Stalen sectie met ribben:	dekmasa 41.6 kg plus deklast 108 kg.

(Bij MVD 0 vervalt de deklast)

Aan de in het dek gelegen 250 knooppunten van ieder model, zie Fig 8, zijn puntmassa's toegevoegd (PT3T-elementen), die in de drie translatierichtingen traagheid veroorzaken. Er zijn verschillende groepen van deze puntmassa's gedefinieerd, waarvan de waarde (de massa) per berekening kan worden voorgeschreven. Zo kan door een eenvoudige ingreep van de ene massaverdeling (MVD) worden overgestapt op de andere.

Ieder van de drie modellen (geometrieën) valt dus als het ware uiteen in vier sub-modellen (massaverdelingen). De naamgeving van files is daaraan aangepast; de naam is meestal samengesteld uit een code voor de materiaalsoort (St of GVP) en een voor de massaverdeling (bijvoorbeeld MVD 2). Boven de figuren met de afbeelding van een eigenmode staat in het blokje met toelichting de modelnaam die de herkomst van de figuur helpt verklaren: 'STMVD2' betekent dan Staal, Massaverdeling 2.

7. DE BEREKENDE TRILVORMEN BEHOREND BIJ DE DRIE MODELLEN

In de tabellen 1 tot en met 4 zijn de eigenfrequenties samengevat van de stalen deksectie, met en zonder langsverstijvers. In de tabellen 5 tot en met 8 is dat gebeurd voor de GVP sectie.

In eerste instantie zijn telkens de eerste 20 trilvormen berekend. Later zijn enkele aanvullende berekeningen verricht om extra buigvormen van het dekspant te vinden.

In de tabellen zijn de figuurnummers opgenomen van de trilvormen die in dit rapport zijn afgebeeld.

Getracht is balkmodes (buigmodes) en plaatmodes te onderscheiden. Bij de stalen deksectie met langsspanen is het trillingsbeeld daarvoor al snel te gecompliceerd en de tabellen 1 tot en met 4 bevatten dan ook uitsluitend de frequenties. Bij de GVP sectie is in de tabellen 5 tot en met 8 wel gepoogd die relatie aan te geven. Dat kan enigszins misleidend werken. Zo vindt men in de kolom buigmodes (van het webspant) slechts 3 (voor MVD3 2) eigenfrequenties vermeld. Er zijn echter onder de in de tabellen opgenomen trilvormen meer trilvormen met veelal aanzienlijk lagere frequenties waarbij het webspant eveneens 1, 2 of 3 buiken vertoont. Een voorbeeld hiervan komt verderop in dit hoofdstuk aan de orde. Wellicht zijn die trilvormen voor de later te berekenen schokresponsie nog wel belangrijker.

Voor zuivere balktrillingen en plaattrillingen zijn natuurlijk formules bekend voor de eigenfrequenties. Die zijn bijvoorbeeld verzameld door BLEVINS [9].

Gecontroleerd is voor enkele gevallen of toepassing van deze formules tot frequenties leiden die in de buurt liggen van de met behulp van DIANA berekende frequenties voor de samengestelde constructie.

(1) Balktrillingen [9, blz 108]

In de eerste plaats is gekeken naar het stalen dek, met langsspanen, en de massaverdeling 1. De buigstijfheid van het webspant is $E \cdot I = 2.1E11 \cdot 6.8034E-5 = 1.4287E7 \text{ Nm}^2$.

De massa per lengte-eenheid, inclusief het eigen gewicht, is 499 kg/m.

Voor de balktrilvormen met 1, 2 resp. 3 buiken vinden we dan daarmee de volgende eigenfrequenties: 11.6 Hz, 32.0 Hz en 62.8 Hz.

Voor de samengestelde constructie leverde DIANA min of meer corresponderende trilvormen op met frequenties van respectievelijk 11.2 Hz, 28 Hz en 47.5 Hz.

In de tweede plaats is gekeken naar het GVP dek, ook weer met massaverdeling 1.

De buigstijfheid van het webspant is $E \cdot I = 0.16E11 \cdot 25.465E-05 = 0.40744 \text{ N/m}^2$.

De massa per lengte eenheid inclusief eigen gewicht is 425 kg/m.

Voor de balktrilvormen met 1, 2 resp. 3 buiken vinden we dan daarmee de volgende eigenfrequenties: 6.72 Hz 18.5 Hz en 36.3 Hz.

Voor de samengestelde constructie leverde DIANA trilvormen met frequenties van 5.8 Hz, 11.8 Hz en 14.5 Hz. Bij deze trilvormen bewegen het webspant en de aangrenzende beplating in fase. Uit de Diana berekening blijken er daarnaast nog een drietal trilvormen te bestaan, eveneens met 1, resp 2, resp 3 buiken, waarbij het webspant en de aangrenzende beplating in tegenfase verkeren. De bijbehorende frequenties zijn veel hoger: 17.9 Hz, 21.7 Hz en 29.8 Hz. Deze laatste zijn in tabel 6 in de kolom buigmodes opgenomen en grafisch uitgezet in fig. 68. Maar achteraf gezien had hier ook de eerst genoemde serie trilvormen (5.8, 11.8 en 14.5 Hz) vermeld kunnen worden.

Zoals verwacht is de overeenkomst met de "BLEVINS resultaten" het best bij trilvormen met 1 buik. Afwijkingen kunnen onder andere ontstaan door de aangenomen meedragende plaatbreedte zoals die in het traagheidsmoment I verwerkt is. Verder door de massa die in het DIANA model via de flexibele dekplaat indirect aan het webspant verbonden is.

2) Plaattrillingen [9, blz 260]

Gekeken is naar het stalen dek zonder langsspanen en de massaverdeling 0. Daarvan is een rechthoekig plaatveld beschouwd van 1.8 x 3.6 m dat aan een van de korte zijden opgelegd is en aan de drie andere zijden ingeklemd is. BLEVINS levert hier een frequentie van 12.9 Hz.

DIANA levert voor de samengestelde constructie 13.1 Hz voor trilvorm 5 (figuren 11 en 12).

Eigenfrequenties stalen dekstrook (Hz):

MVD 0		Zonder ribben:		Met ribben:		Eigenfrequenties stalen dekstrook (Hz):		Zonder ribben:		Met ribben:	
Mode	Hz.	Mode	Hz.	Mode	Hz.	MVD1	Hz.	MVD1	Hz.	MVD1	Hz.
1	6.02	1	21.1	1	4.62						
2	8.19		51.3	2	6.39						
3	10.9		57.6	3	8.66						
4	11.6	10	58.8	4	9						
5	13.1	11 en 12	58.9	5	11	21					
6	13.6		60.3	6	11.7						
7	14.4	13	61.26	7	13.1						
8	16.3		61.3	8	13.5						
9	16.8		61.5	9	14.8						
10	18.9		61.6	10	16.4						
11	20.7		62	11	17.1						
12	22.3		62.3	12	18.3	22					
13	25.3		62.42	13	19.6						
14	26.7		62.44	14	20						
15	30.8		68	15	23						
16	32		75.15	16	23.6						
17	36.5	14 en 15	80.54	17	26.1						
18	37.3		83.3	18	26.5						
19	37.7		86.48	19							
20	38.2		86.49	20							
21				21							

Tabel 1, Eigenfrequenties met de figuurnummers van de stalen deksectie met massaverdeling 0.

Tabel 2, Eigenfrequenties met de figuurnummers van de stalen deksectie met massaverdeling 1.

Eigenfrequenties stalen dekstrook (Hz):				Eigenfrequenties stalen dekstrook (Hz):				Figuur	Met ribben:	Figuur	Met ribben:	Figuur
MVD 2		Zonder ribben:	Figuur	MVD 3		Zonder ribben:	Figuur					
Mode	Hz.			Mode	Hz.							
1	2.829		28	1	2.207						Hz.	32
2	3.824		29	2	2.948						10.9	
3	5.046			3	3.839						20.5	
4	5.379			4	4.011						20.7	
5	6.065			5	4.423						21	
6	6.326			6	4.772						21.8	
7	6.662			7	4.849						22	
8	7.531			8	5.482						22.6	
9	7.796			9	5.855						23.3	
10	8.747			10	6.371						23.7	33
11	9.577			11	7.169						23.8	
12	10.35		30	12	7.544						23.9	34
13	11.74			13	8.756						24	
14	12.38			14	9.019						24	
15	14.32			15	10.64						24.1	
16	14.86			16	10.81						24.5	35
17	17.37		31	17	12.83						26.7	
18	17.83			18	12.94						29.8	
19	19.6			19	15.37						32.9	
20	20.95			20	15.42						33.8	
21				21	18.28						33.8	
				22	18.3						35.4	

Tabel 3, Eigenfrequenties met de figuurnummers van de stalen deksectie met massaverdeling 2.

Tabel 4, Eigenfrequenties met de figuurnummers van de stalen deksectie met massaverdeling 3.

GVP-dek Massaverdeling MVD 0	Aantal buiken dwarsscheeps	Balk Freq. (Hz)	Plaat Freq. (Hz)	Plaat Freq. (Hz)	Figuur
Mode		Buigmode	Symmetrisch	Keersymm	
1	1		12.2		36
2	1			12.3	37
3	2			15.5	38
4	2		15.8		39
5	3			17.1	40
6	3		17.1		41
7	4		18.8		
8	4			18.9	
9	5		21.3		
10	5			21.4	
11	6		24.7		
12	6			24.9	
13	1	26.4			42
14	7		29.3		
15	7			29.5	
16	8		35.1		
17	8			35.3	
18	9		42.1		
19	9			42.3	
20	10		50.4		43
22	2	50.7			44
23	1			51.9	
28	2			74.1	
29	3	78.4			45

Tabel 5, Bijzonderheden van de trilvormen van de GVP-deksectie met massaverdeling 0.

GVP-dek Massaverdeling MVD 1	Aantal buiken dwarsscheeps	Balk Freq. (Hz)	Plaat Freq. (Hz)	Plaat Freq. (Hz)	Figuur
Mode		Buigmode	Symmetrisch	Keersymm	
1	1		5.83		46
2	1			8.81	
3	2		11.8		47
4	2			12.8	
5	3		14.5		48
6	3			14.8	
7	4		16.3		
8	4			16.6	
9	1	17.9			49
10	5		18.4		
11	5			18.8	
12	6		21.2		
13	6			21.7	
14	2	21.7			50
15	7		24.6		
16	7			25.3	
17	1			27.3	51 en 52
18	8		28.3		
19	8			29.3	
20	3	29.8			53

Tabel 6, Bijzonderheden van de trilvormen van de GVP-deksectie met massaverdeling 1.

GVP-dek Massaverdeling MVD 2	Aantal buiken dwarsscheeps	Balk Freq. (Hz)	Plaat Freq. (Hz)	Plaat Freq. (Hz)	Figuur
Mode		Buigmode	Symmetrisch	Keersymm	
1	1			4.07	
2	1		4.2		54
3	2			5.06	
4	2		5.19		55
5	3			5.59	
6	3		5.6		56
7	4		6.14		
8	4			6.17	
9	5		6.94		
10	5			7	
11	6		8.09		
12	6			8.15	
13	7		9.6		
14	7			9.66	
15	8		11.5		
16	8			11.6	
17	1	11.8			57
18	9		13.8		
19	9			13.9	
20	10		16.6		
24	2	21.9			58
25	1			22.5	
28	2			27.6	59
29	3	28.3			60

Tabel 7, Bijzonderheden van de trilvormen van de GVP-deksectie met massaverdeling 2.

GVP-dek Massaverdeling MVD 3	Aantal buiken dwarsscheeps	Balk Freq. (Hz)	Plaat Freq. (Hz)	Plaat Freq. (Hz)	Figuur
Mode		Buigmode	Symmetrisch	Keersymm	
1	1			2.93	
2	1		3.15		61
3	2			3.54	
4	2		3.63		62
5	3			3.88	
6	3		3.89		63
7	4		4.26		
8	4			4.28	
9	5		4.81		
10	5			4.84	
11	6		5.6		
12	6			5.63	
13	7		6.64		
14	7			6.67	
15	8		7.95		
16	8			7.97	
17	9		9.53		
18	9			9.54	
19	10		11.4		
20	10			11.4	
27	1	21.8			64
34	1			36.2	
37	2	39.1			65
38	2			41.5	

Tabel 8, Bijzonderheden van de trilvormen van de GVP-deksectie met massaverdeling 3.

8. BESCHOUWINGEN EN CONCLUSIES

Om het dynamisch gedrag van een Glasvezel Versterkt Polyester dek te kunnen vergelijken met dat van een conventioneel stalen dek is een deksectie van 1.8 * 7.2 meter beschouwd. De eigenfrequenties en de bijbehorende trilvormen zijn onderzocht van drie modellen, een stalen deksectie zonder en met langsverstijvers en een GVP-sectie; zie Fig 2, 3, 6, 7, 8. Elk van die modellen is onderzocht bij vier verschillende massaverdelingen, kortweg genaamd MVD 0, MVD 1, MVD 2 en MVD 3; zie Fig 9.

Eigenfrequenties en trillingsvormen werden berekend met behulp van de Eindige Elementen Methode, meer in het bijzonder met het pakket DIANA en met de pre- en postprocessor FEMGEN. De randvoorwaarden zijn zodanig gekozen dat alleen dektrillingen worden berekend waarbij alle spanten dezelfde (verticale) kant op gaan.

Van de stalen deksecties zijn de berekende eigenfrequenties samengevat in de tabellen 1 tot en met 4, en een selectie van de trilvormen in de figuren 10 tot en met 35.

De GVP-secties zijn toegelicht in de tabellen 5 tot en met 8 en in de figuren 36 tot en met 65.

Uit de resultaten van de beide stalen dek-secties kan men opmaken dat de langsscheepse verstijving van het dek met HP100*7 platbulbstaal tot gevolg heeft dat de eigenfrequenties van de eerste 20 modes minstens verdubbeld zijn. Dit wordt geïllustreerd door Fig 66 waarin de eigenfrequenties zonder en met verstijvers grafisch tegen elkaar zijn uitgezet. Overigens zijn de beeldpunten louter op volgorde van frequentie geplaatst zonder te letten op bijzonderheden van de trilvorm (plaat- of balkmode, aantal buiken, etc).

Als we wel kijken naar de frequenties van corresponderende trilvormen, met name de eerste balkmodes die ongetwijfeld in sterke mate aangestoten worden, dan vinden we het beeld zoals samengevat in tabel 9.

	Zonder langsspan		Met langsspan	
MVD0	11.6 Hz	(fig.10)	21.1 Hz	(fig. 16)
MVD1	9 Hz	(fig.21)	11.2 Hz	(fig. 23)
MVD2	5.4 Hz		11.1 Hz	(fig. 28)
MVD3	4.0 Hz		10.9 Hz	(fig. 32)

Tabel 9 Balkmodes stalen dek met een enkele buik.

In het geval er geen langsspannen aanwezig zijn geldt met name voor MVD0, MVD2 en MVD3 dat er behalve van een buigtrilling van het webspan ook gelijktijdig sprake is van relatief aanzienlijk grotere plaattrillingsamplitudes. Naarmate de massa verder van het webspan aflight zakt de frequentie aanzienlijk van 9 naar 4 Hz. De aanwezigheid van de langsspannen, die extra stijfheid inbrengen, verhinderen het zakken van de eigenfrequentie vrijwel volledig, namelijk van 11.2 naar 10.9 Hz.

De geometrische resolutie van de maaswijdte van de elementenverdeling (bijvoorbeeld 300 * 225 mm) bleek toereikend voor het gestelde doel. Zie Fig 43. Alleen in het geval van de met ribben verstijfde deksectie bleek het oplossend vermogen beperkt: er passen precies twee elementen tussen twee opeenvolgende ribben, zie Fig 18. Ook voor het berekenen van mechanische spanningen zal een fijnere mesh nodig zijn.

In de hierna volgende tabel 10 zijn de balkmodes samengevat van het GVP dek waarbij het hoedprofiel en het deklaminaat in fase bewegen, met zoals reeds eerder opgemerkt aanzienlijk lagere eigenfrequenties.

MVD0	12.2	Hz	(fig. 36)
MVD1	5.83	Hz	(fig. 46)
MVD2	4.2	Hz	(fig. 54)
MVD3	3.15	Hz	(fig. 61)

Tabel 10 Balkmodes GVP dek met een enkele buik.

De eigenfrequentie van deze trilvorm blijkt ook nog al gevoelig te zijn, bij afwezigheid van langsverstijvers, voor de verdeling van de deklast, zij het iets minder dan in het geval van het stalen dek.

Als men nu het stalen dek met langsverstijvers vergelijkt met het GVP dek voor wat betreft deze laagste balkmode (tabellen 9 en 10), dan blijkt het verschil in frequenties een factor 2 a 3 te bedragen.

Tenslotte zijn in fig. 72 voor beide dekken en voor alle 4 de massaverdelingen nog eens de frequenties van alle trilvormen tegen het mode nummer uitgezet.

Duidelijk blijkt de algemene regel dat het GVP dek lagere eigenfrequenties heeft.

Bij de hierna uit te voeren schokresponsieberekeningen waarbij de dekranden een driehoekige snelheidspuls (kickoff pulse) wordt opgedrongen zal blijken in welke mate het GVP dek door die grotere flexibiliteit een grotere schokreductie te zien zal geven dan het stalen dek. Bovendien zal moeten blijken hoe hoog de spanningen in beide dekken op zullen lopen. Voor de interpretatie van die schokresponsie zijn de hier berekende trilvormen van direct belang.

(lege bladzijde)

FIGUREN.

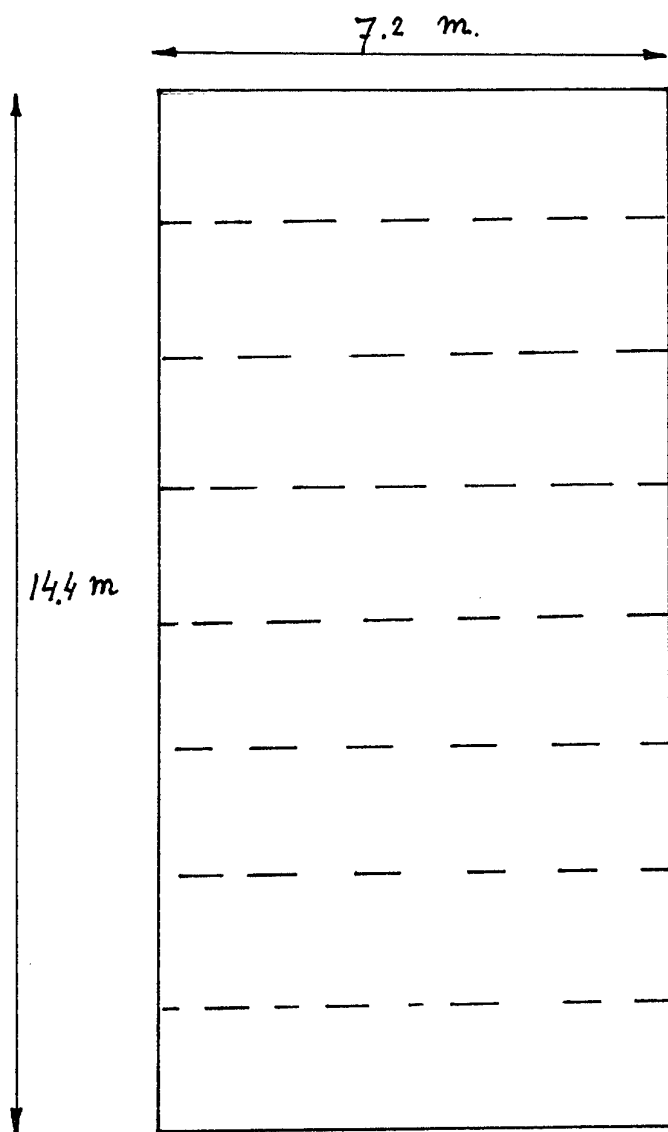


Fig. 1 Bovenaanzicht dek.

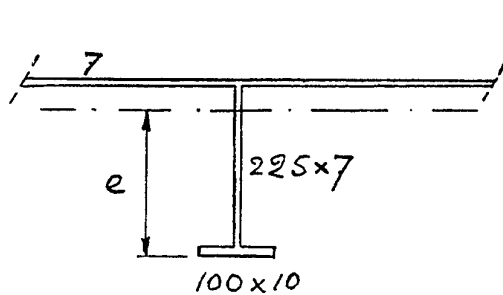


Fig. 2 Stalen webspant.

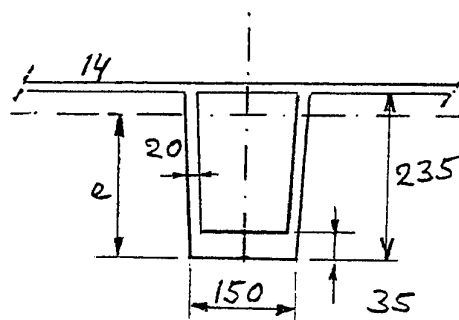
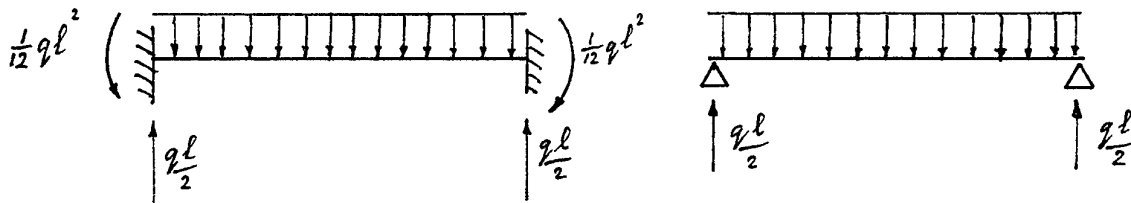


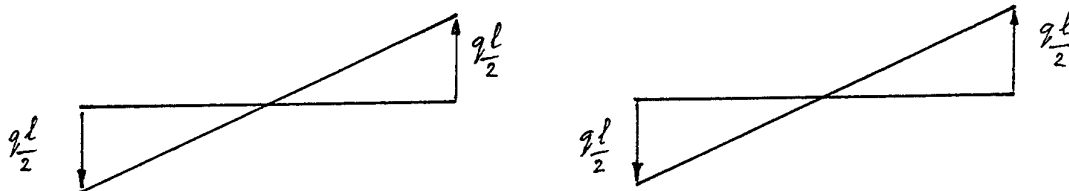
Fig. 3 GVP hoedprofiel.

L	=	dekbreedte
E	=	elasticiteitsmodulus
I	=	traagheidsmoment van de doorsnede
q	=	gelijkmatig verdeelde belasting per lengte-eenheid

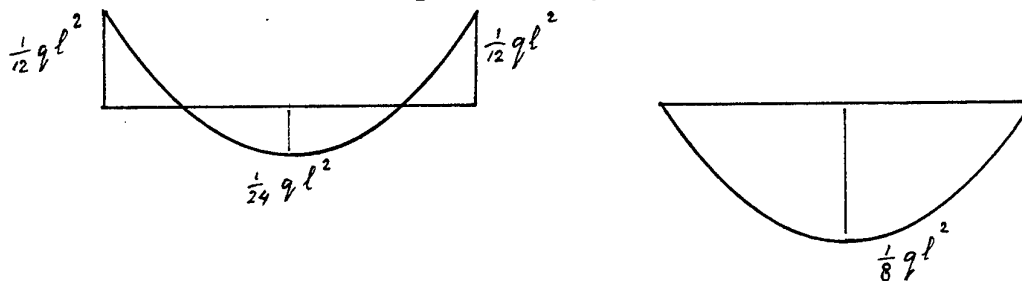
Reaktiekrachten:



Verloop van de dwarskracht:



Verloop van het buigend moment:



Zakking ten gevolge van buigvervorming:

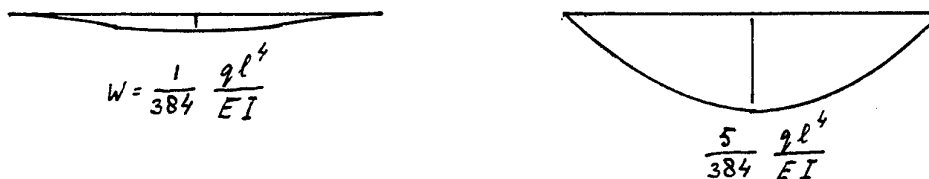


Fig. 4 Balk ingeklemd

Fig. 5 Balk opgelegd

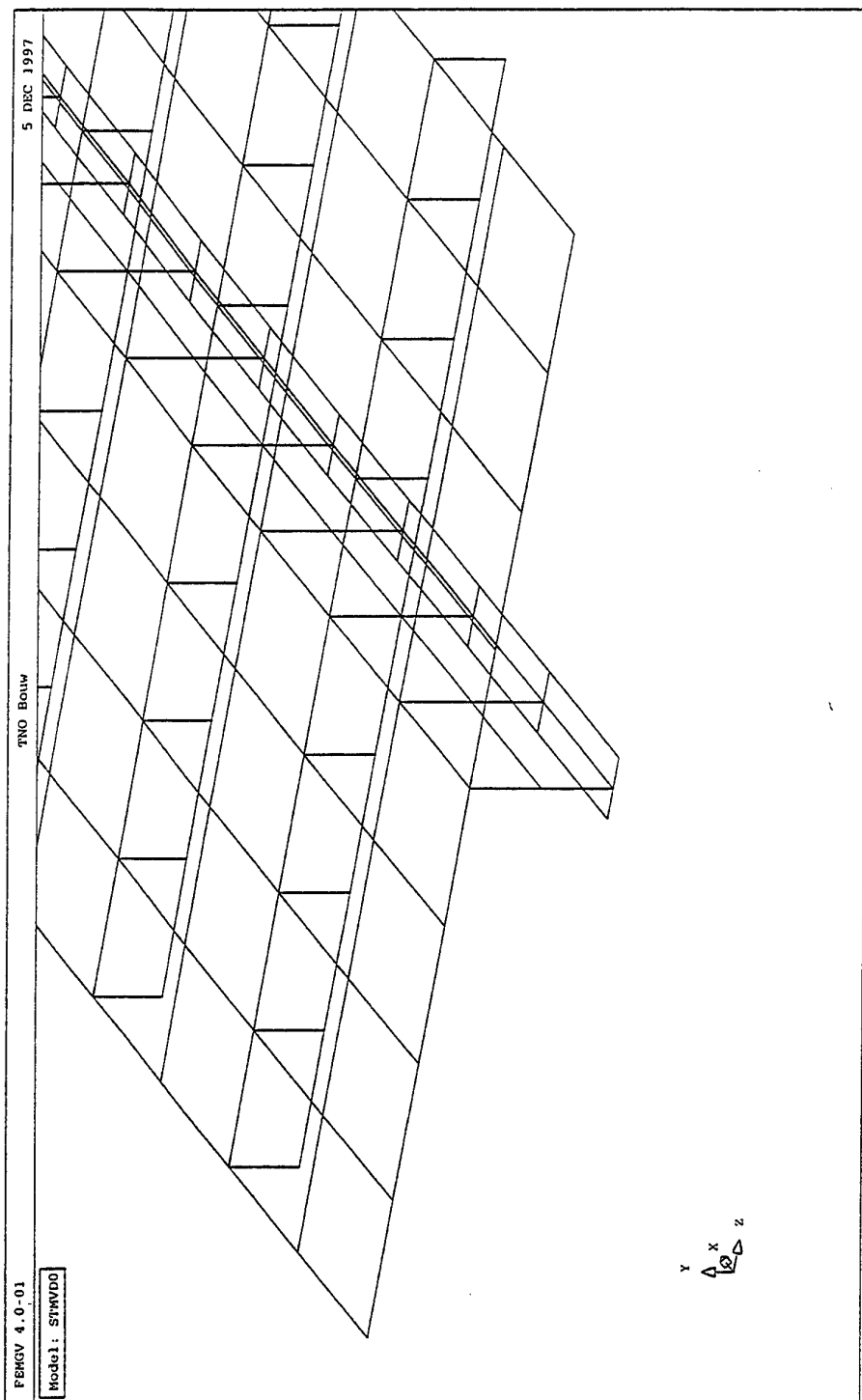


Fig 6. De stalen deksectie met spant en langsversteijers en met de verdeling in Q20SF schaalelementen.

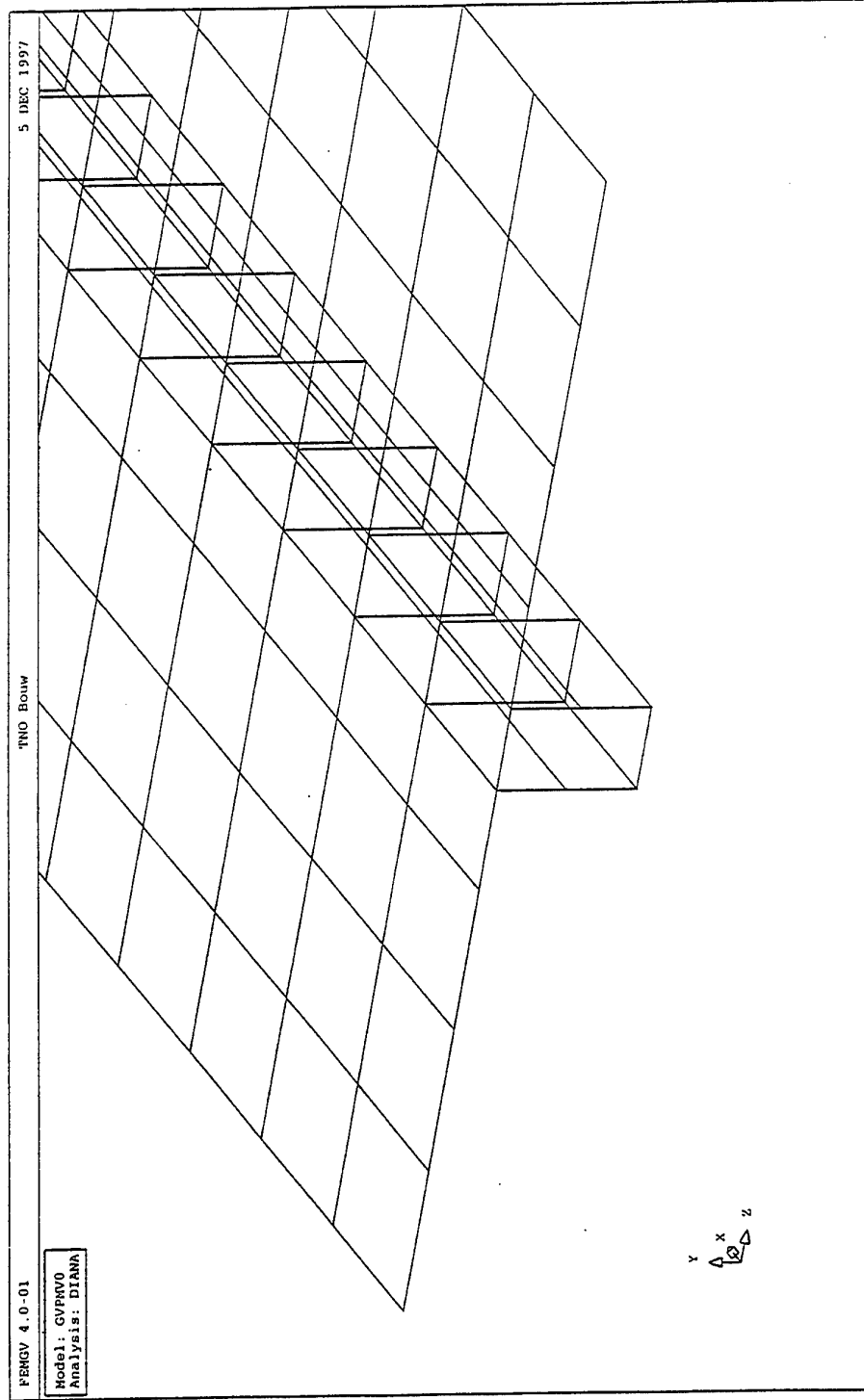


Fig 7. Het model van de GVP-deksectie met de verdeling in Q20SF schaallementen.

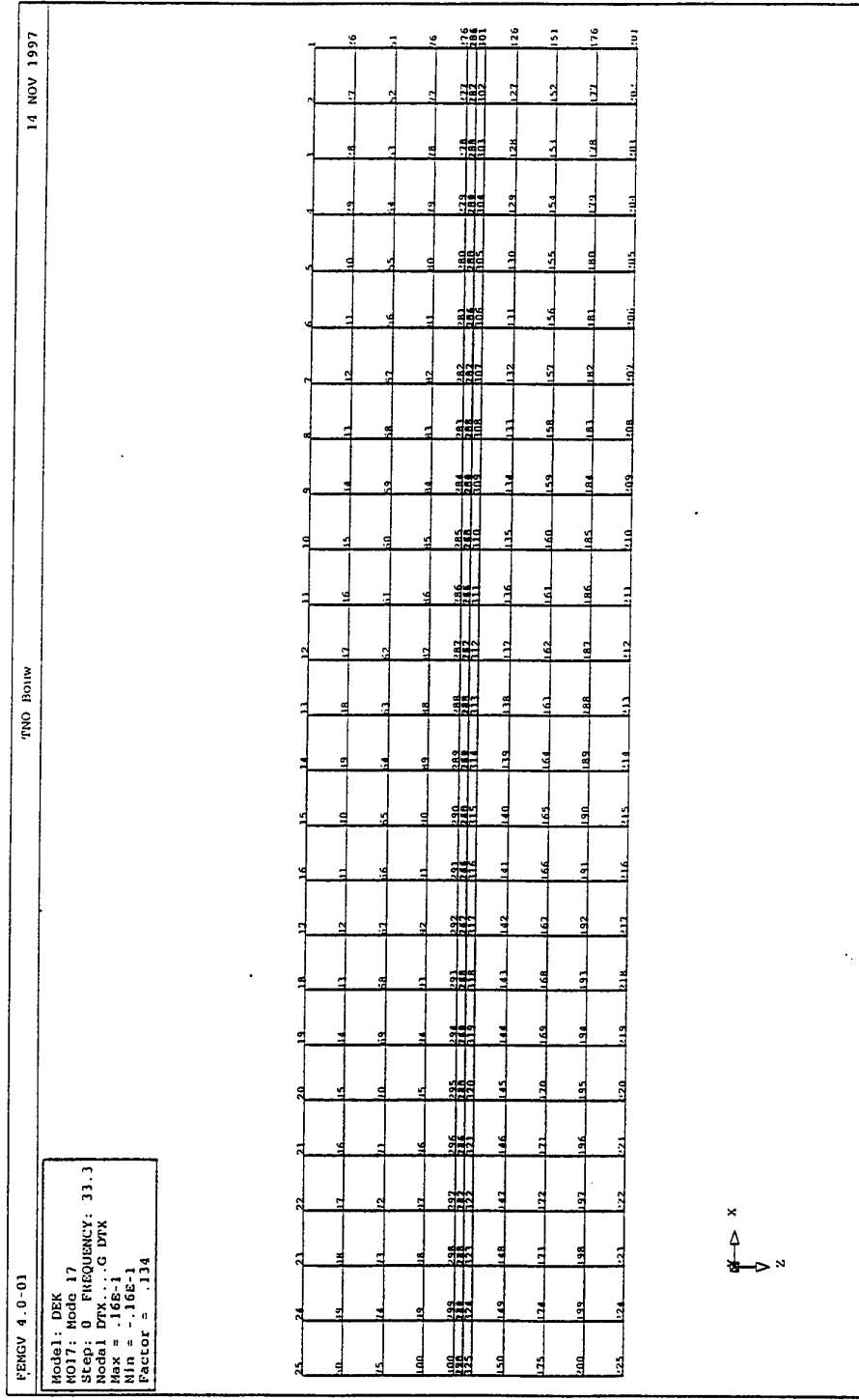


Fig 8. De stalen deksectie (zonder langsverstijvers) in bovenaanzicht met de genummerde knooppunten.

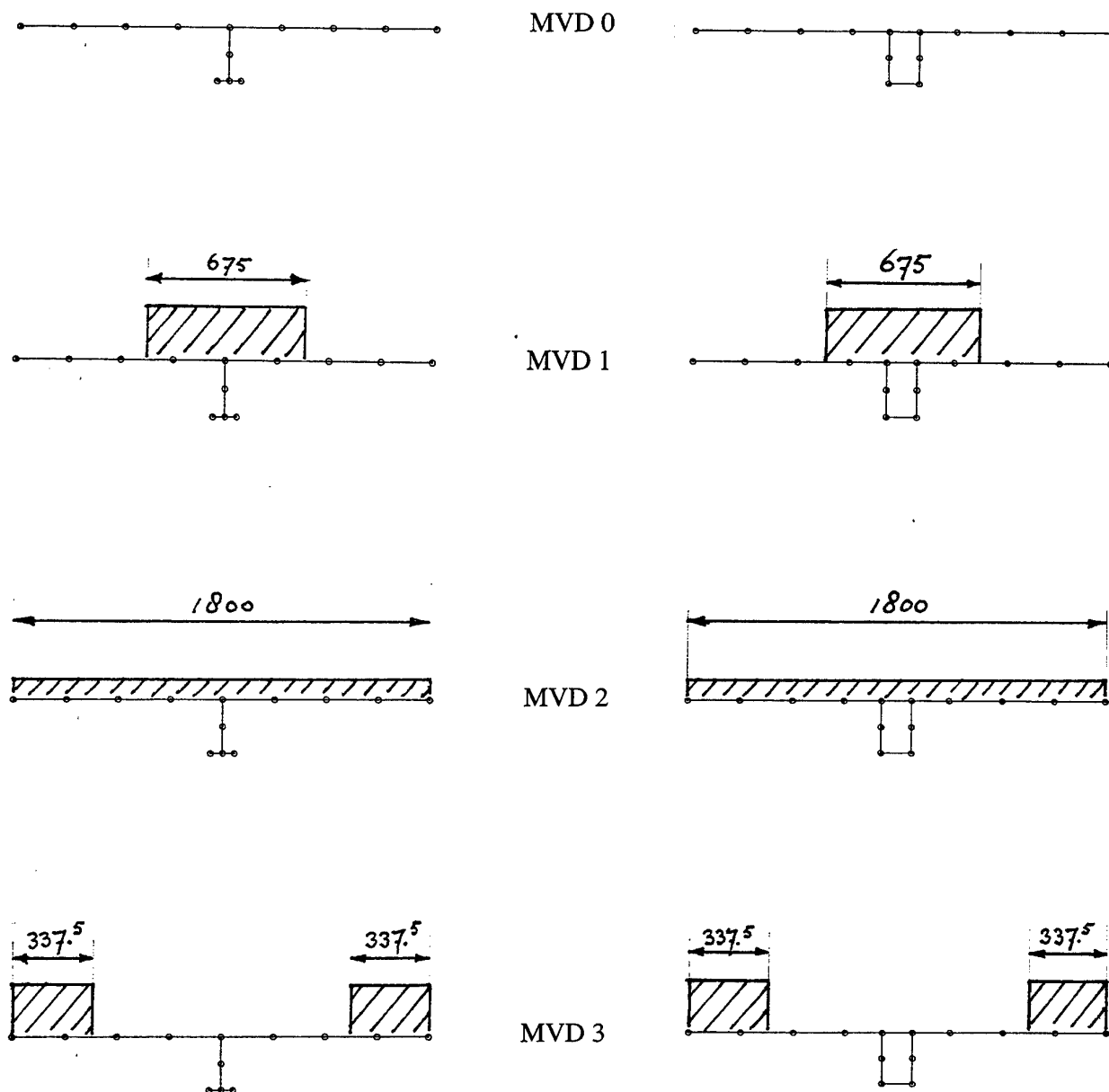


Fig 9. De toegepaste massaverdelingen (MVD's); 108 kg per doorsnede, overeen komend met 200 kg/m². De stalen deksectie links; GVP rechts.

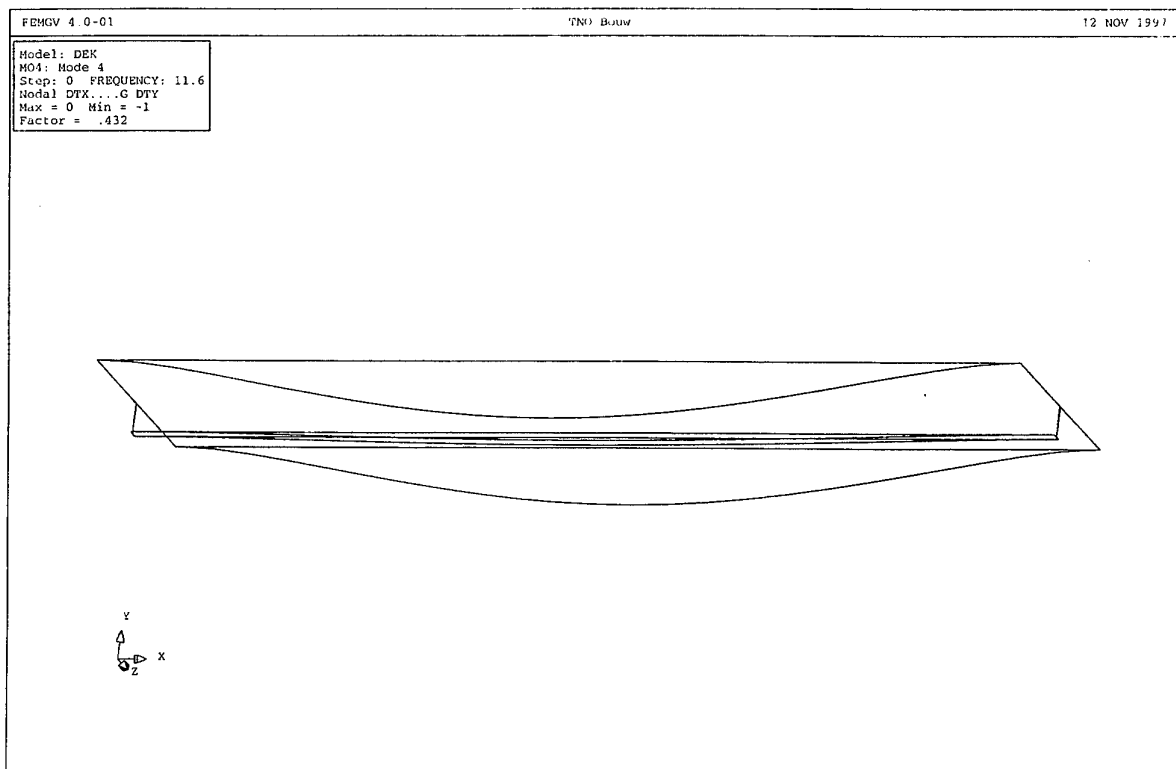


Fig 10. Stalen deksectie zonder langsverstijvers. Massaverdeling 0. Mode 4; 11.6 Hz.

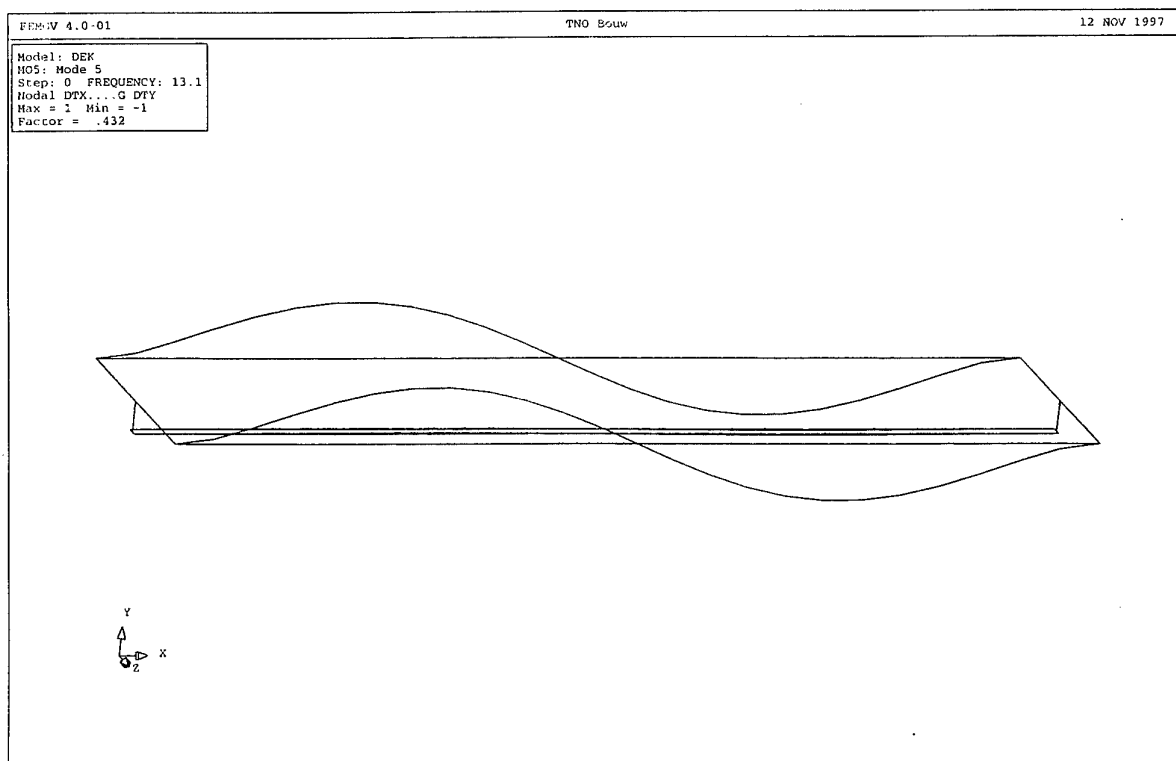
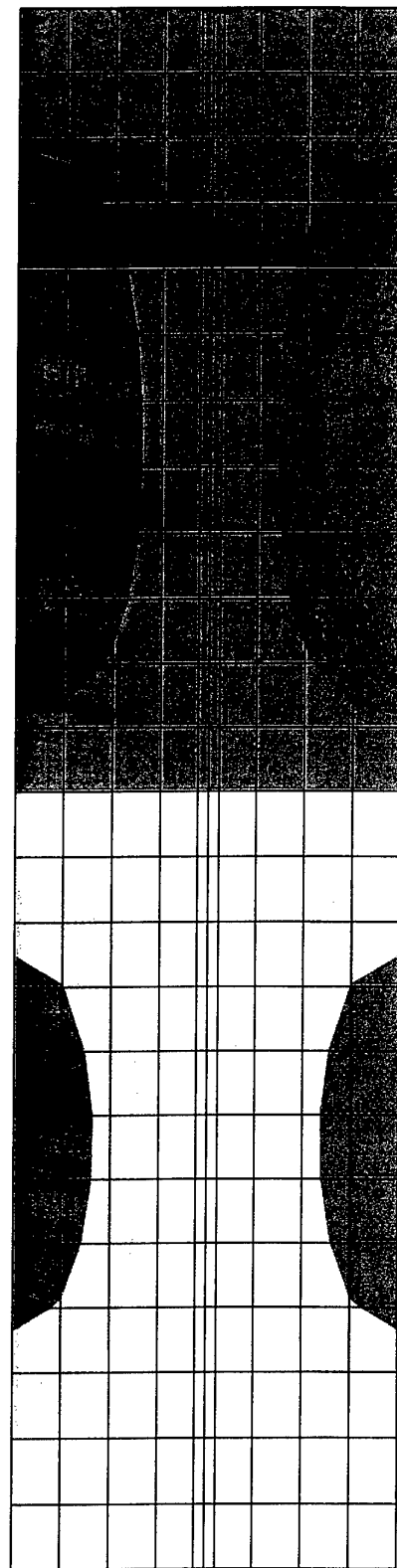


Fig 11. Stalen deksectie zonder langsverstijvers. Massaverdeling 0. Mode 5; 13.1 Hz.

Model: DEK
MO5: Mode 5
Step: 0 FREQUENCY: 13.1
Nodal DTX...G DTY
Max = 1 Min = -1



0.667
0.333
0
-0.333
-0.667

Fig 12. Stalen deksectie zonder langsverstijvers. Massaverdeling 0. Mode 5; 13.1 Hz. Contour plot van de verticale beweging.

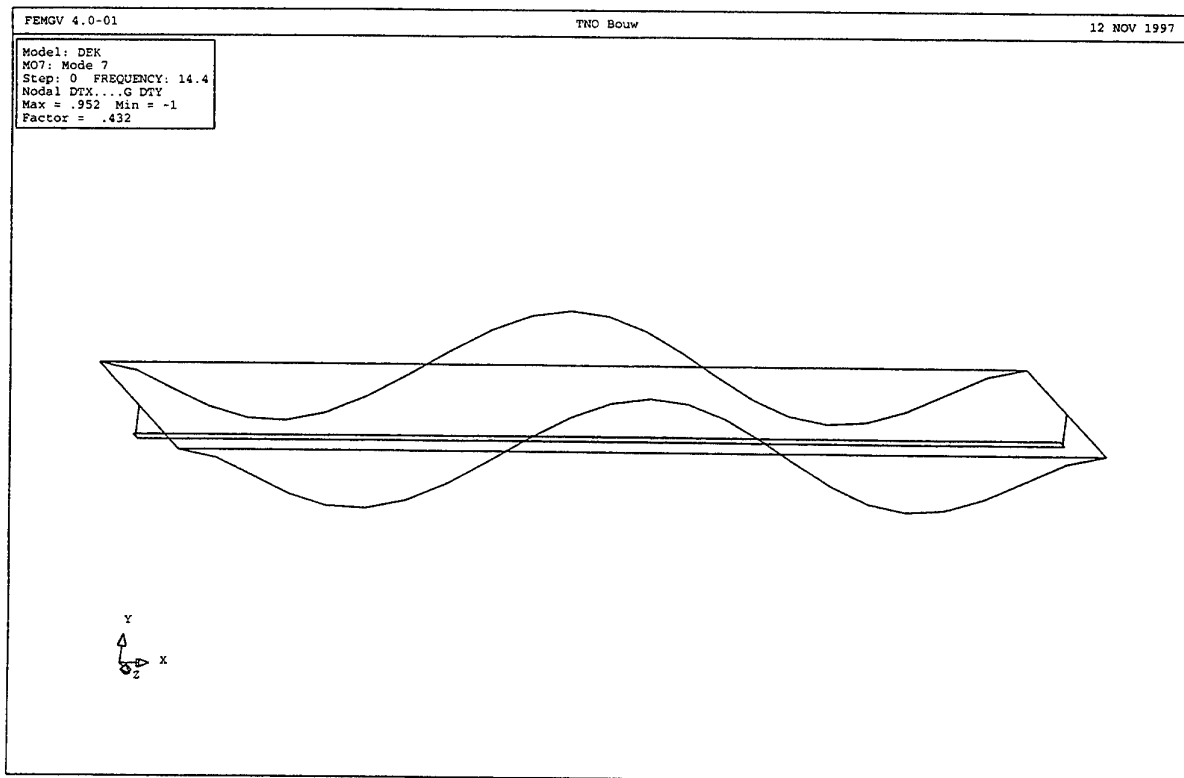


Fig 13. Stalen deksectie zonder langsverstijvers. Massaverdeling 0. Mode 7; 14.4 Hz.

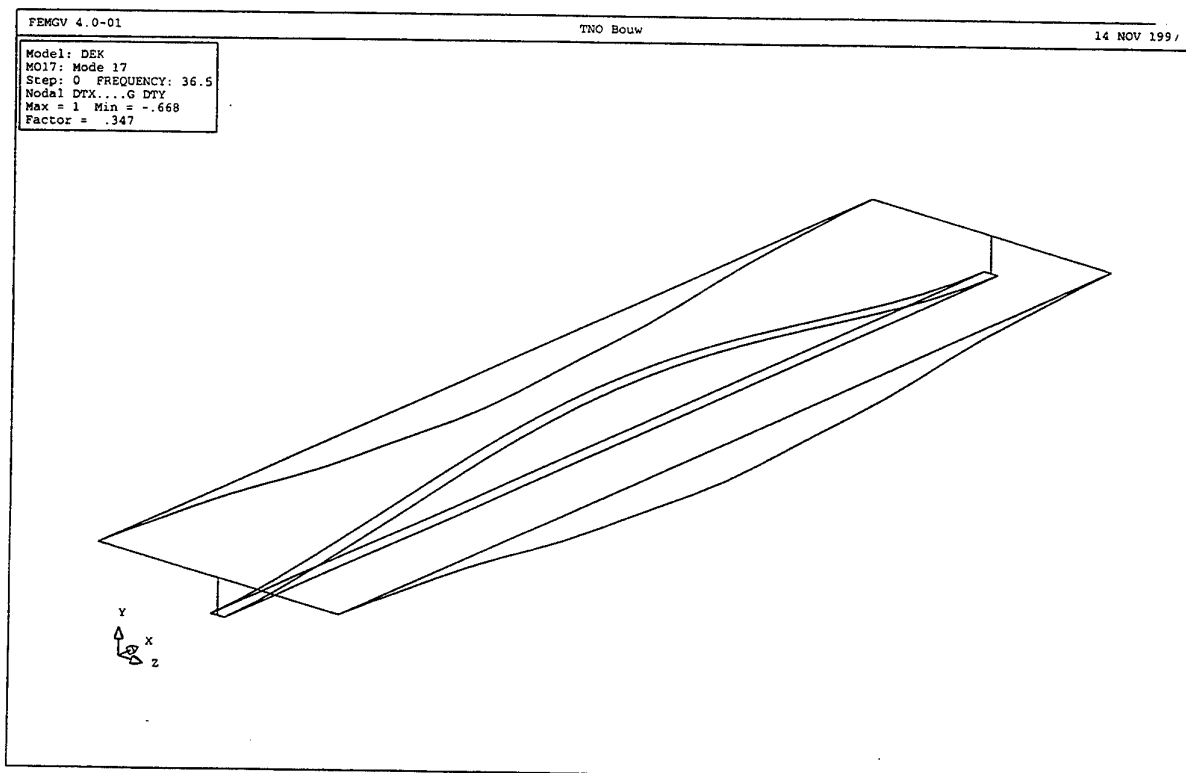


Fig 14. Stalen deksectie zonder langsverstijvers. Massaverdeling 0. Mode 17; 36.5 Hz.

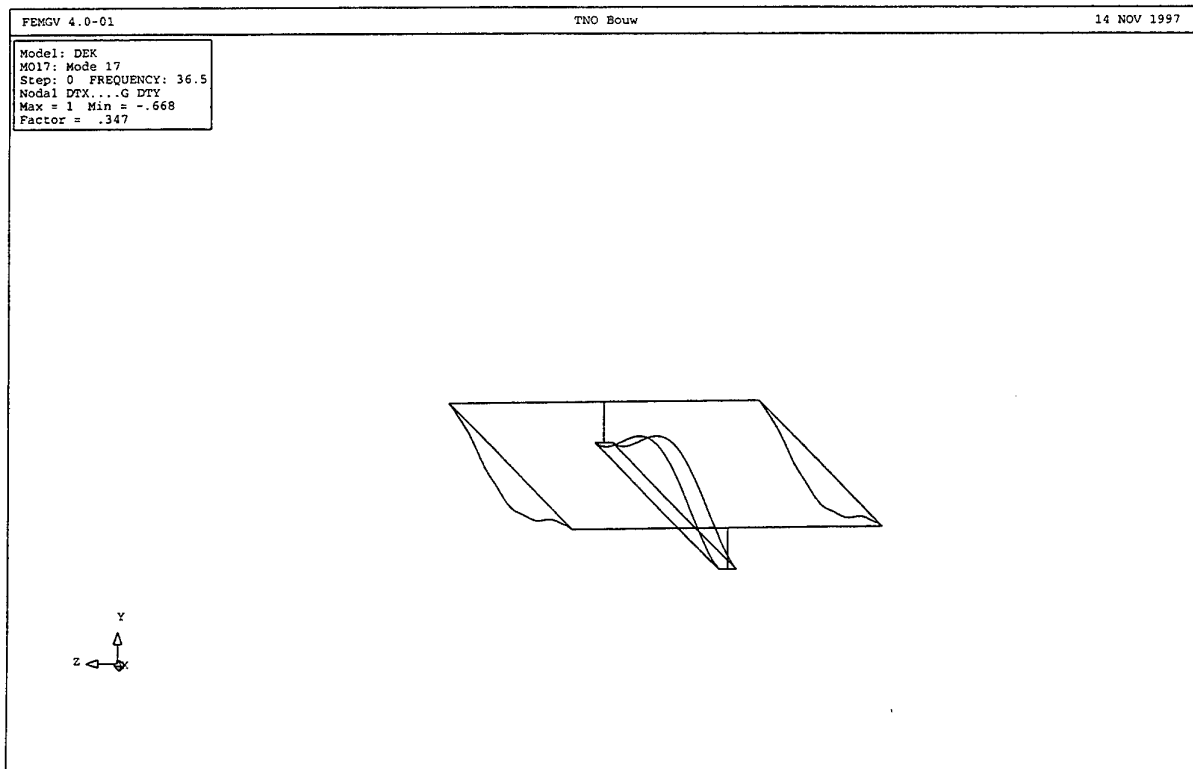


Fig 15. Stalen deksectie zonder langsverstijvers. Massaverdeling 0. Mode 17; 36.5 Hz.

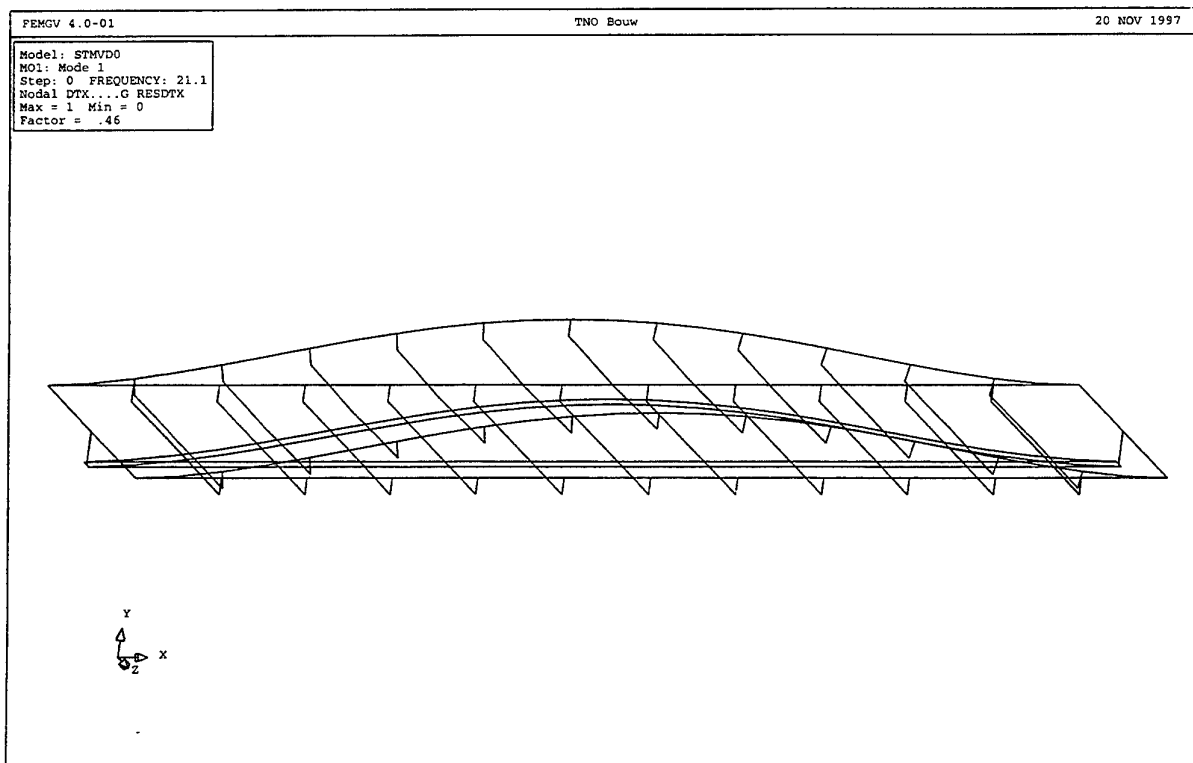


Fig 16. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 0. Mode 1; 21.1 Hz.

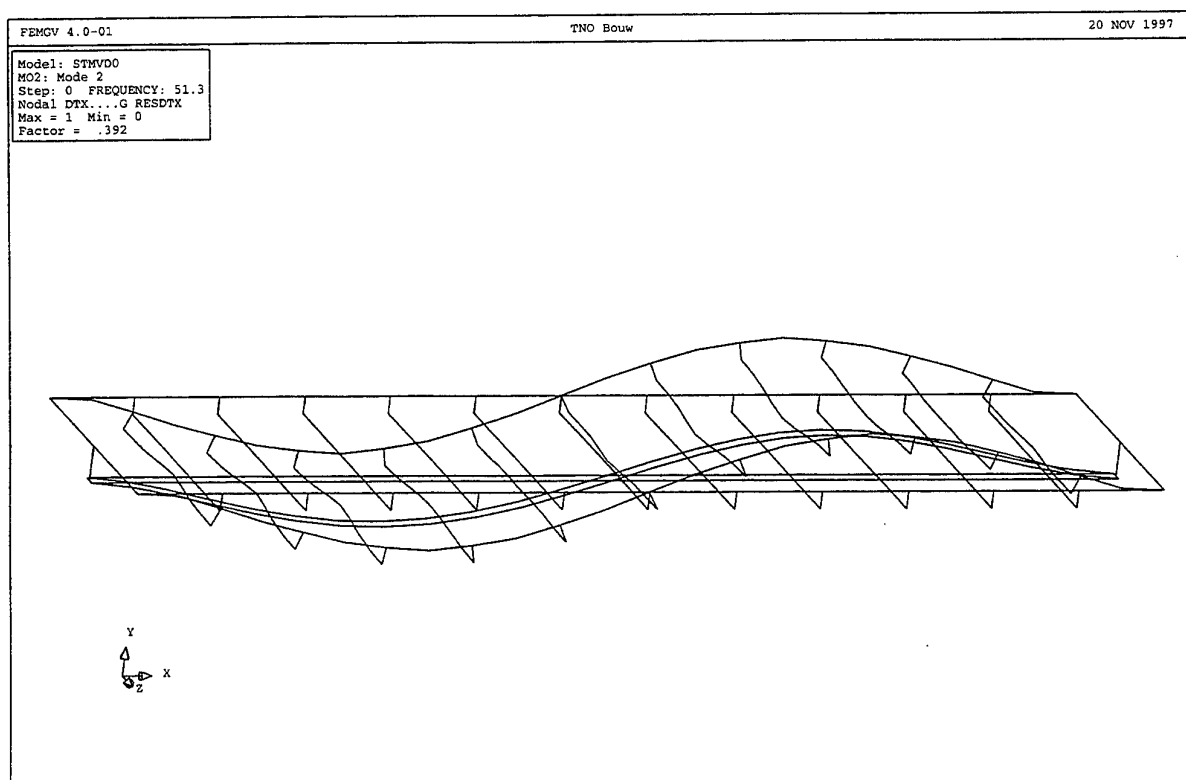


Fig 17. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 0. Mode 2; 51.3 Hz.

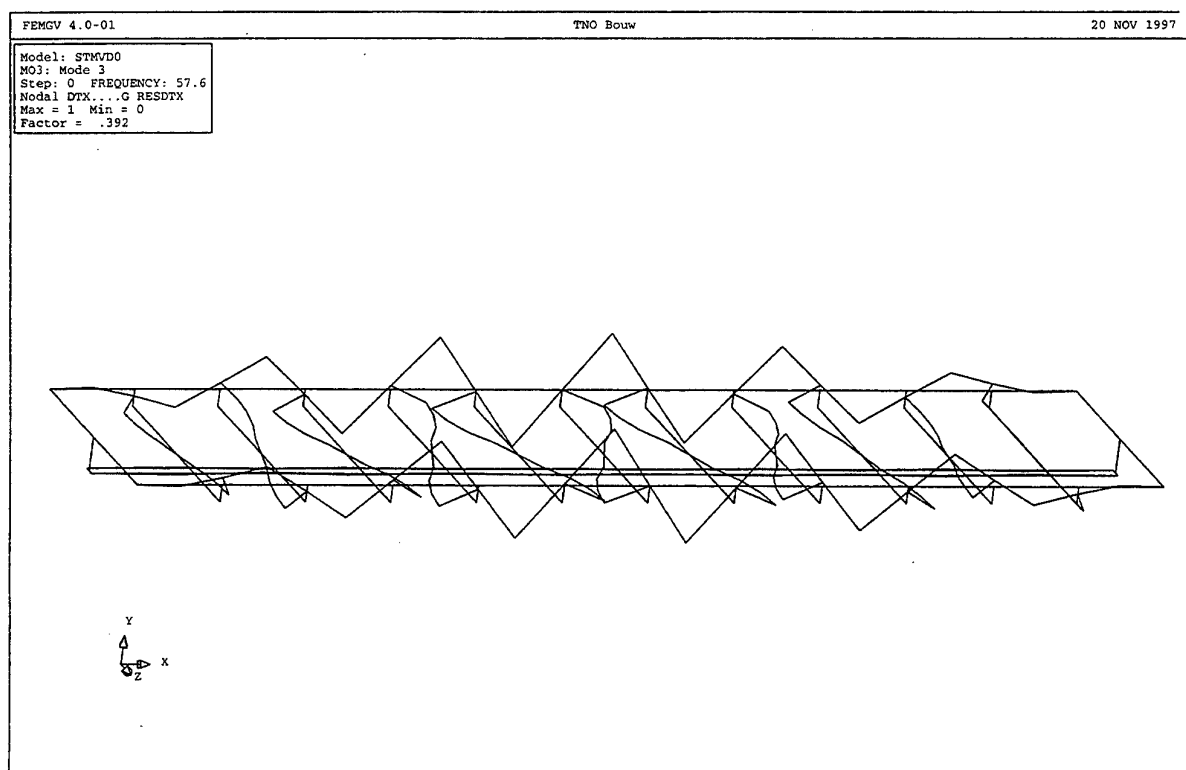


Fig 18. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 0. Mode 3; 57.6 Hz.

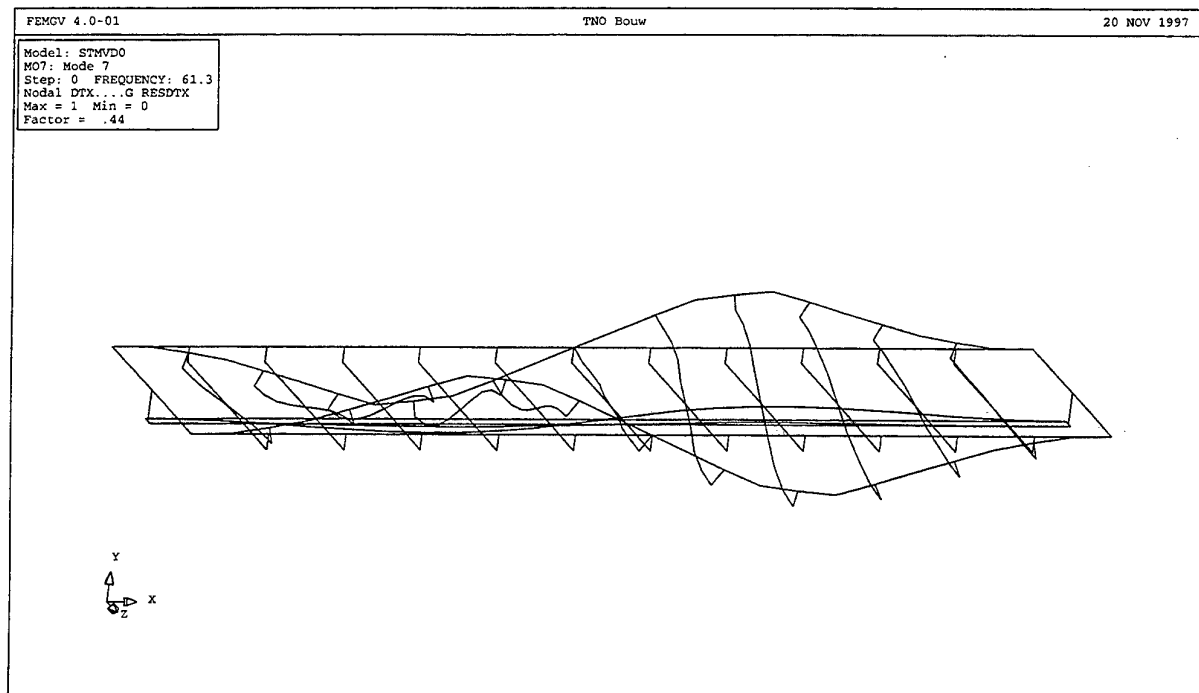


Fig 19. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 0. Mode 7; 61.3 Hz.

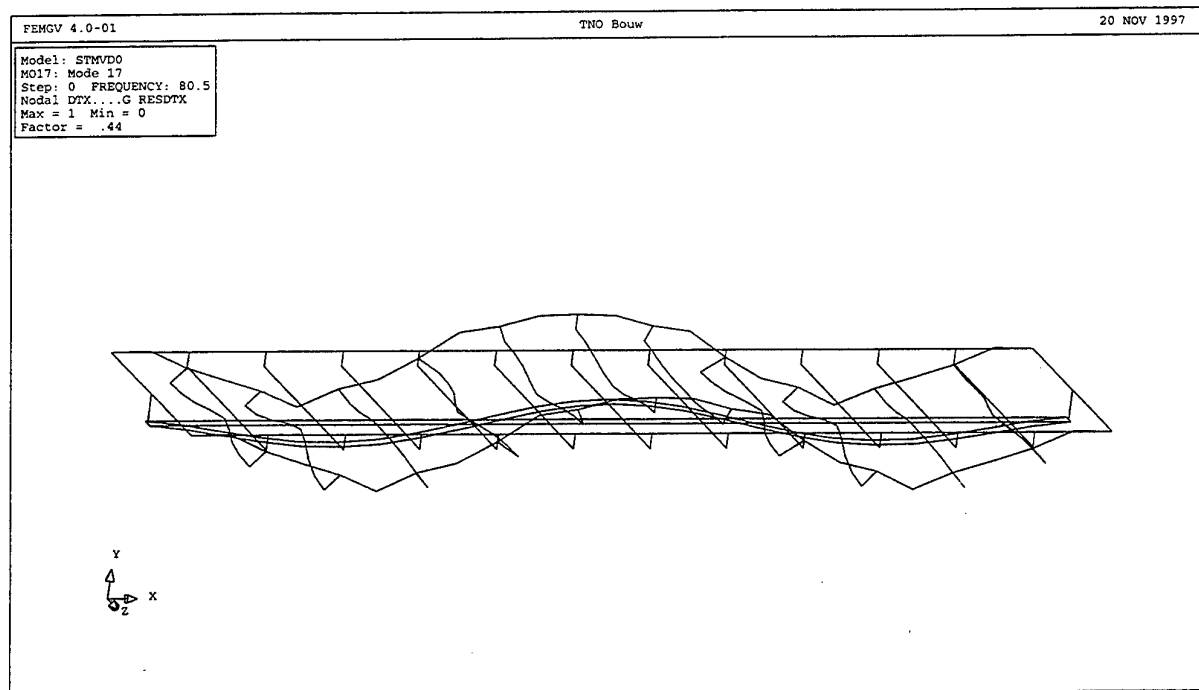


Fig 20. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 0. Mode 17; 80.5 Hz.

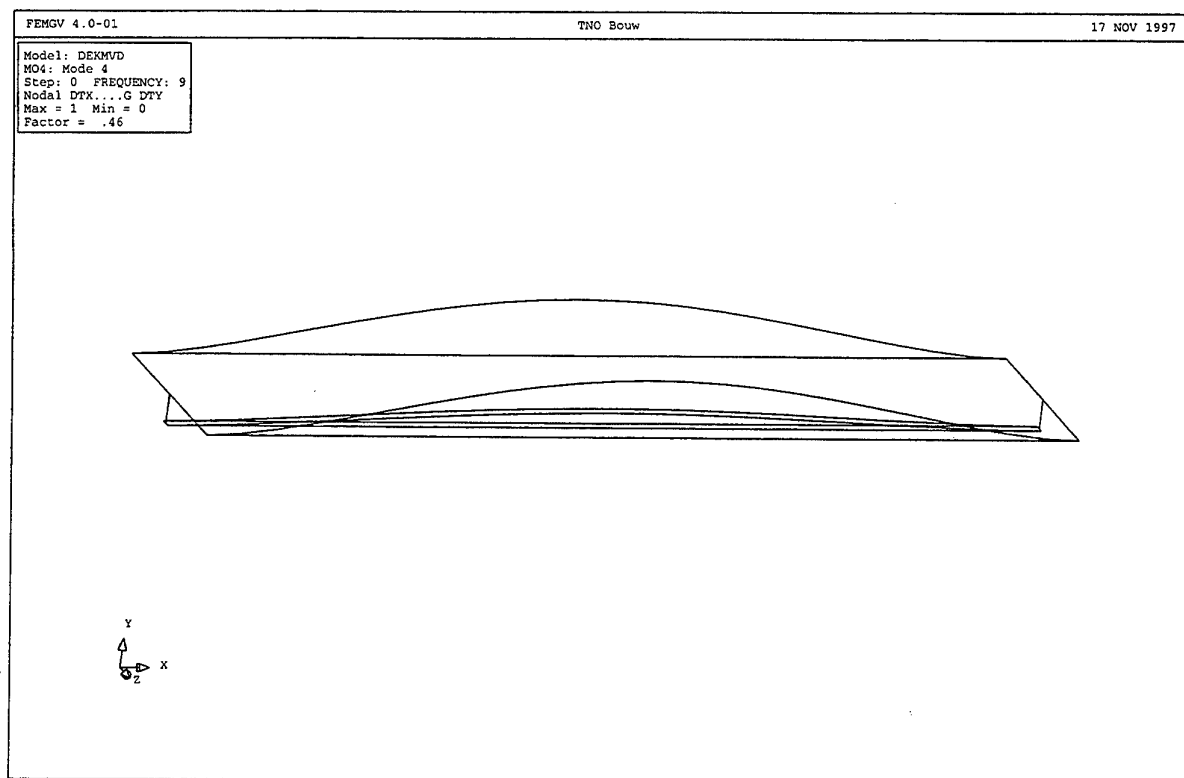


Fig 21. Stalen deksectie zonder langsverstijvers. Massaverdeling 1. Mode 4; 9 Hz.

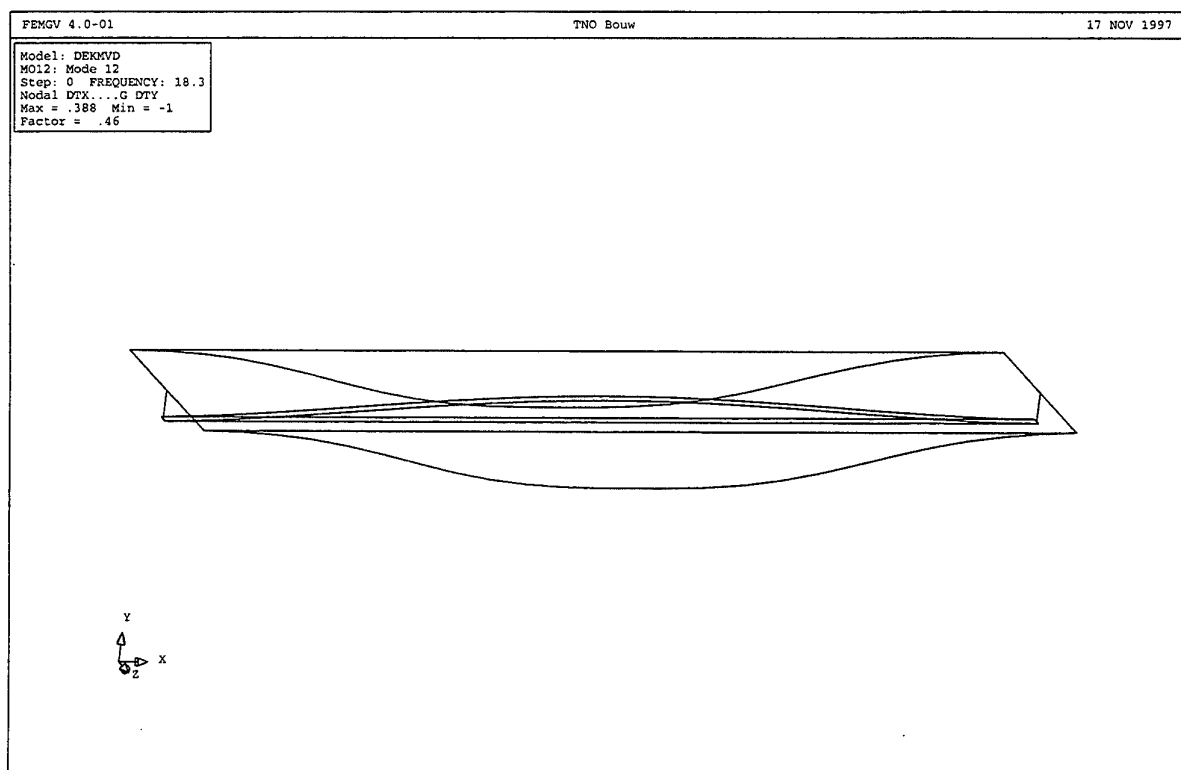


Fig 22. Stalen deksectie zonder langsverstijvers. Massaverdeling 1. Mode 12; 18.3 Hz.

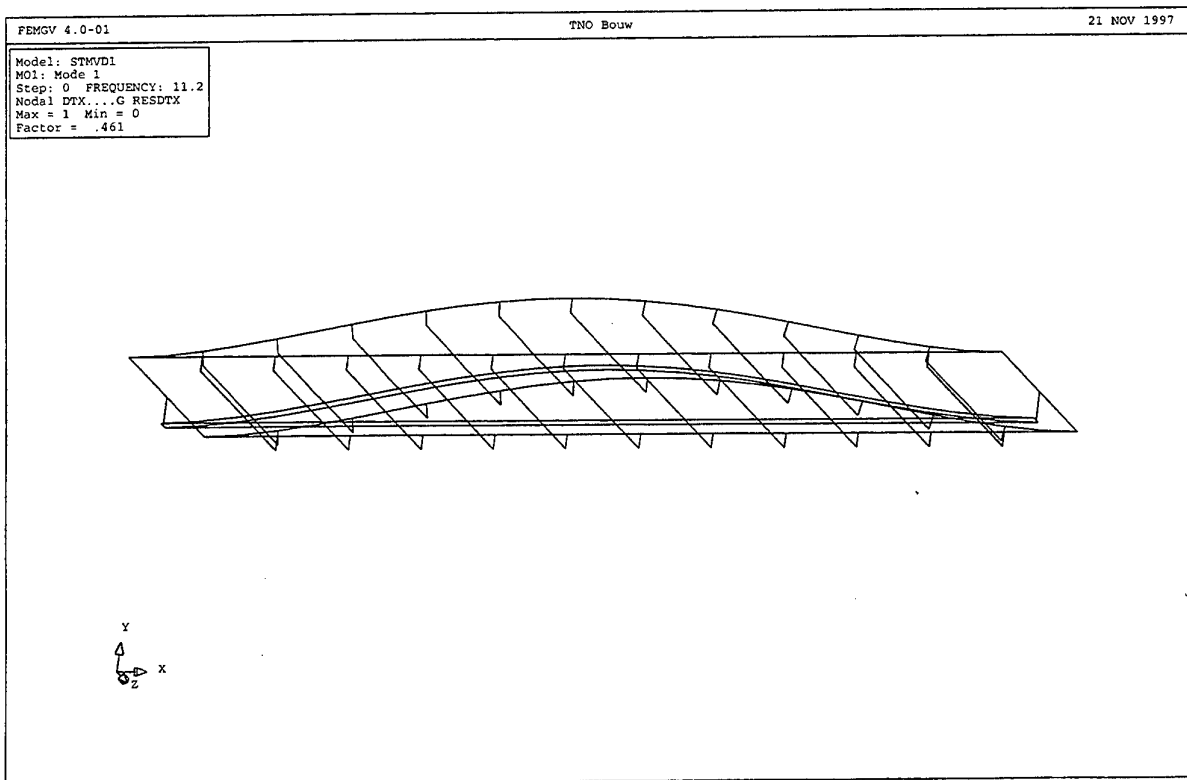


Fig 23. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 1. Mode 1; 11,2 Hz.

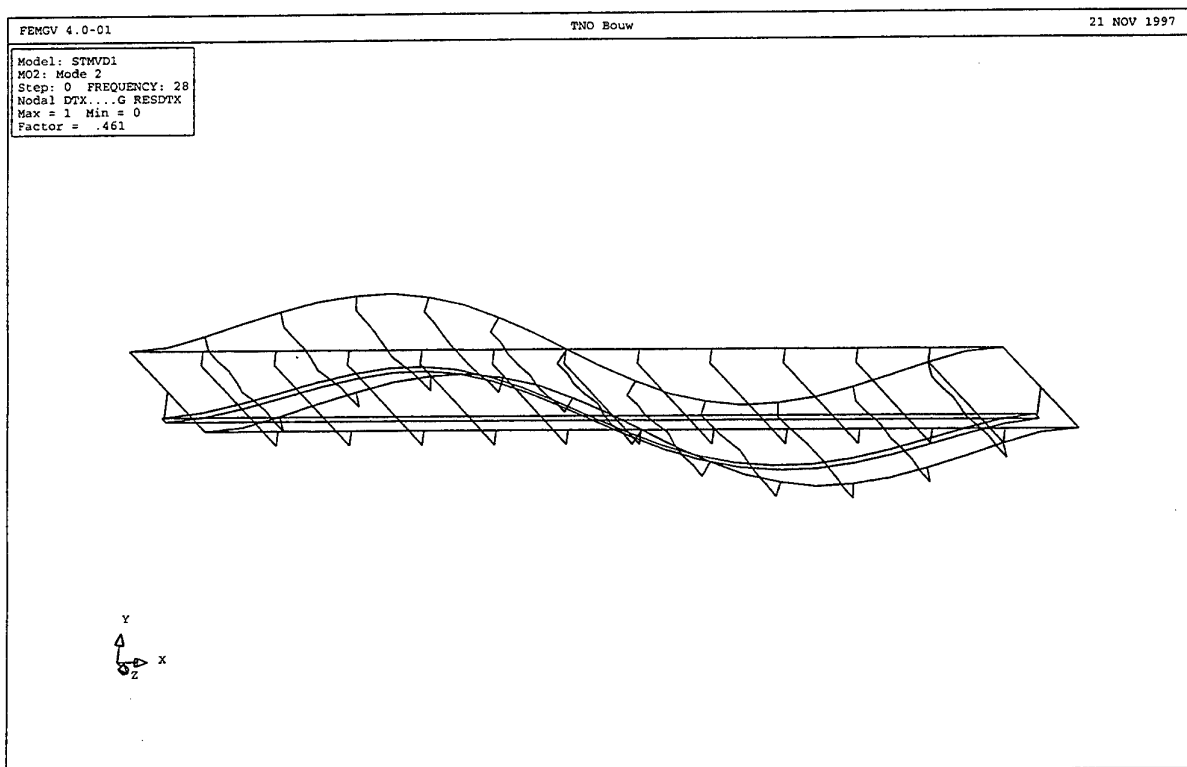


Fig 24. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 1. Mode 2; 28 Hz.

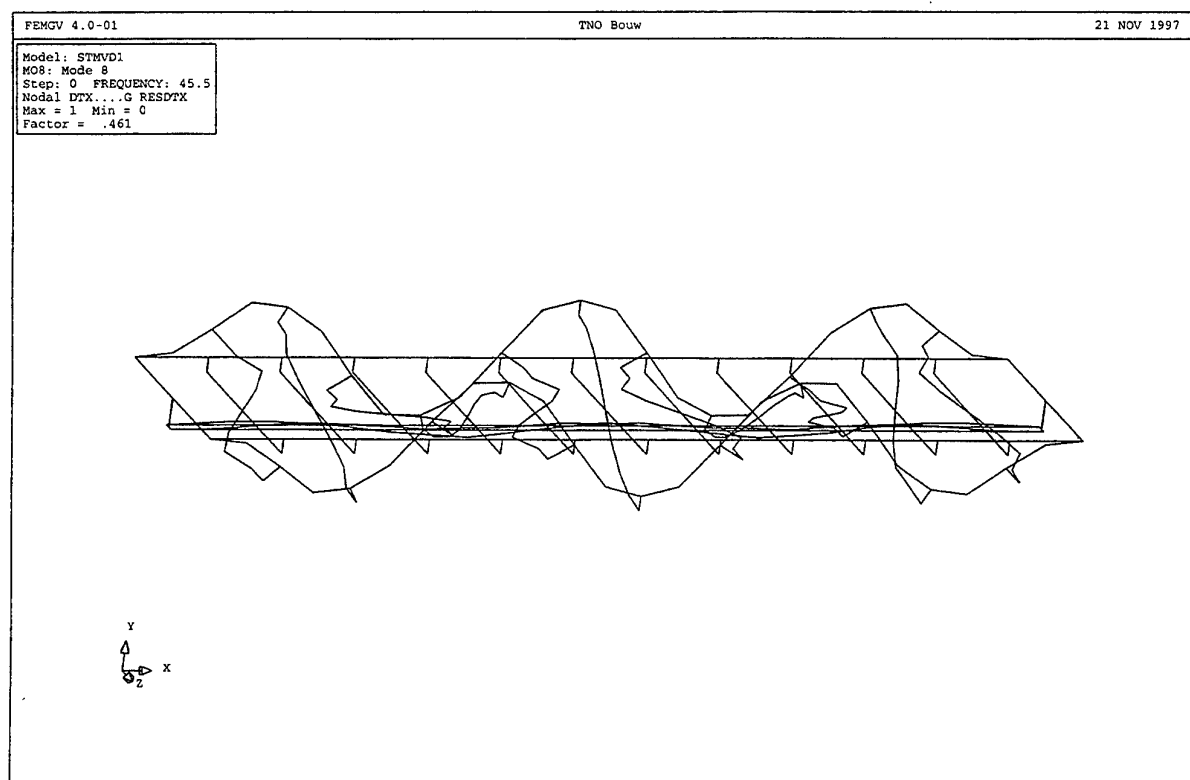


Fig 25. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 1. Mode 8; 45.5 Hz.

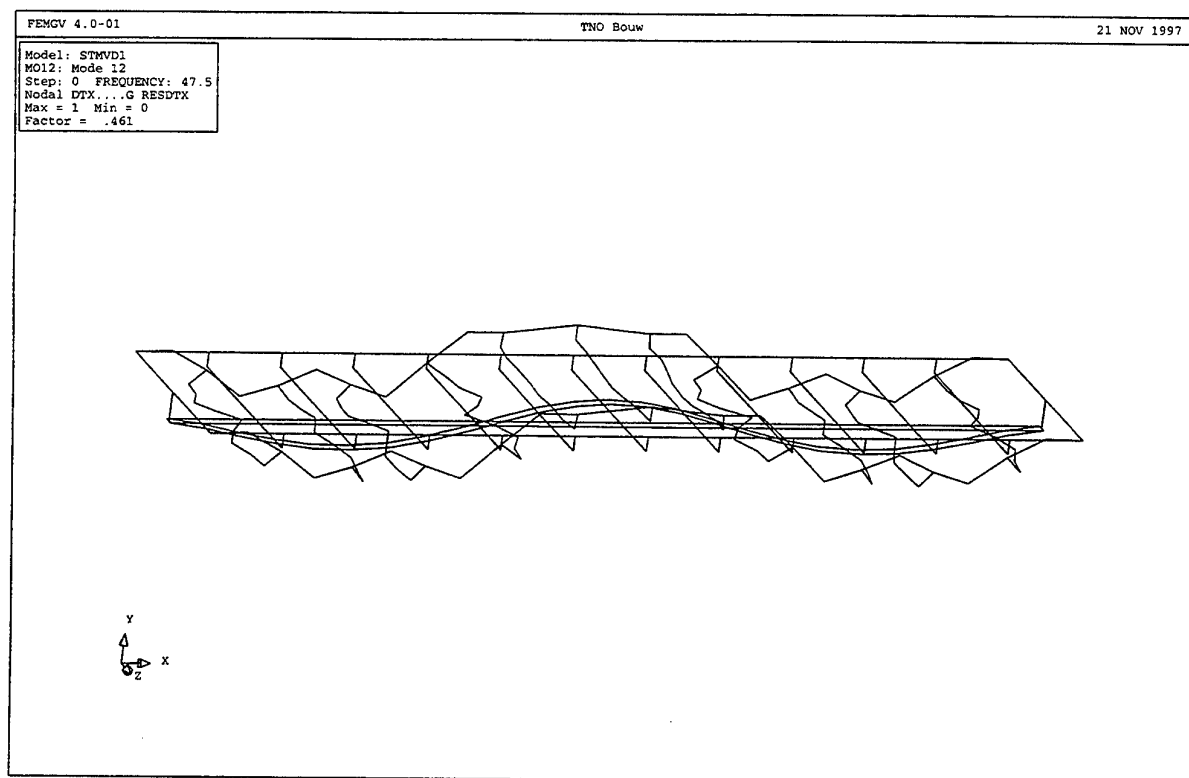


Fig 26. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 1. Mode 12; 47.5 Hz.

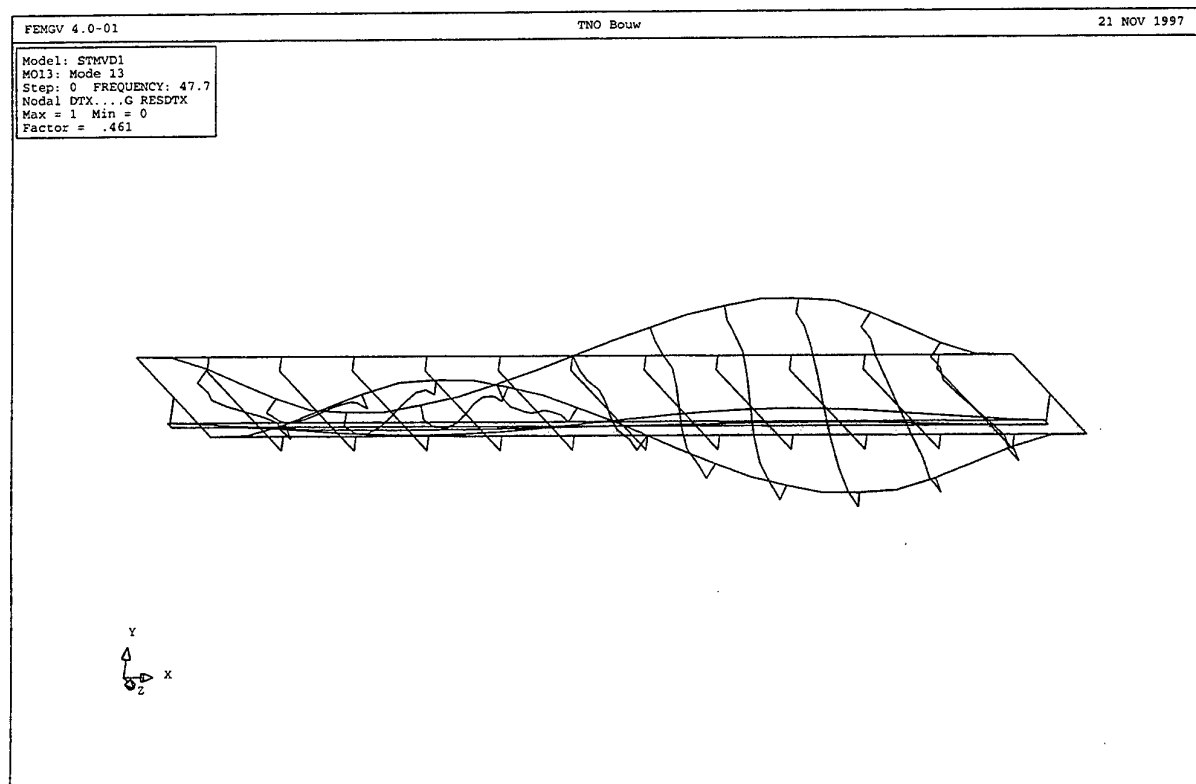


Fig 27. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 1. Mode 13; 47.7 Hz.

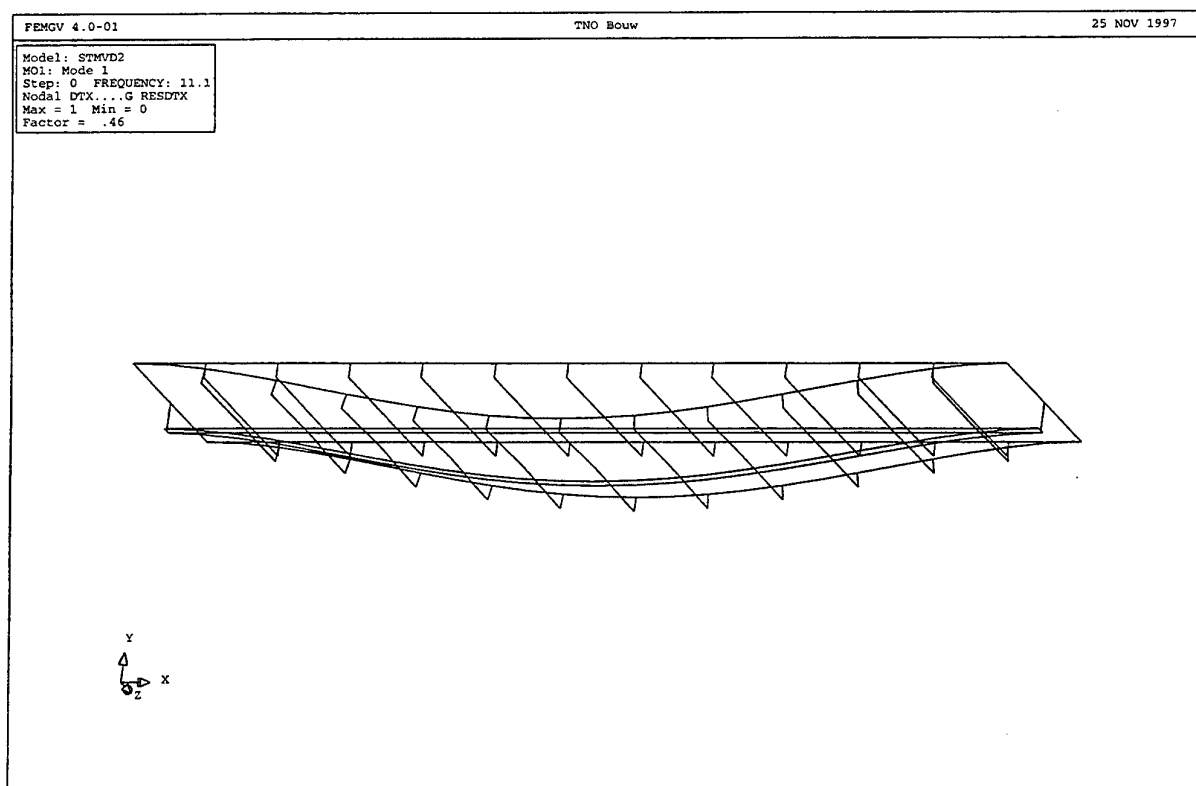


Fig 28. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 2. Mode 1; 11.1 Hz.

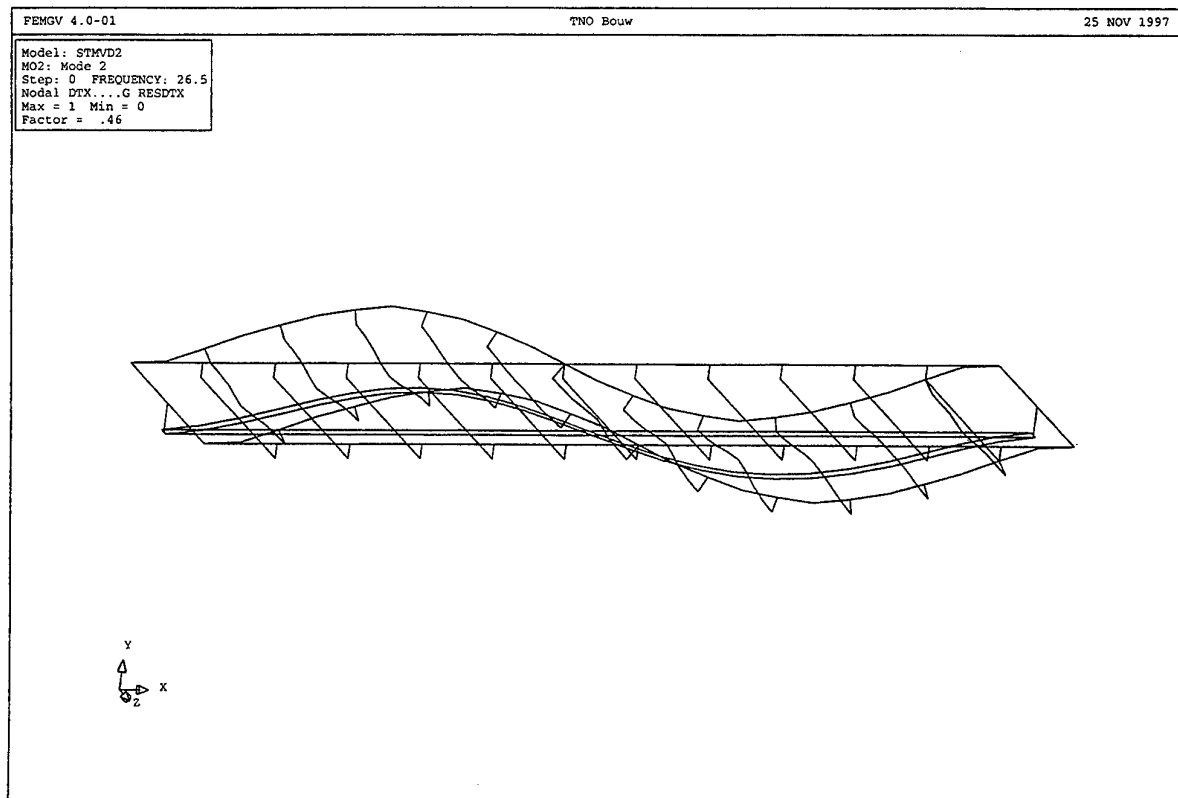


Fig 29. Stalen deksectie met langverstijvers. Massaverdeling 2. Mode 2, 26.5 Hz.

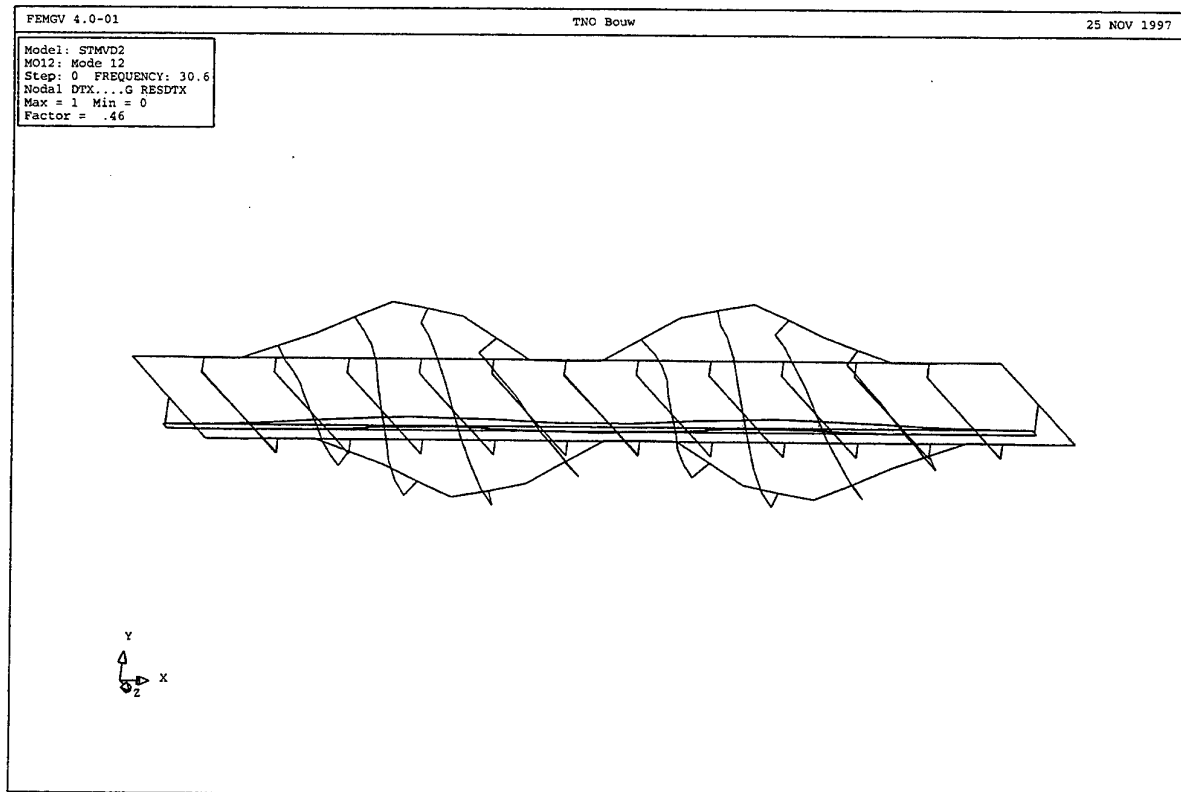


Fig 30. Stalen deksectie met langverstijvers. Massaverdeling 2. Mode 12; 30.6 Hz.

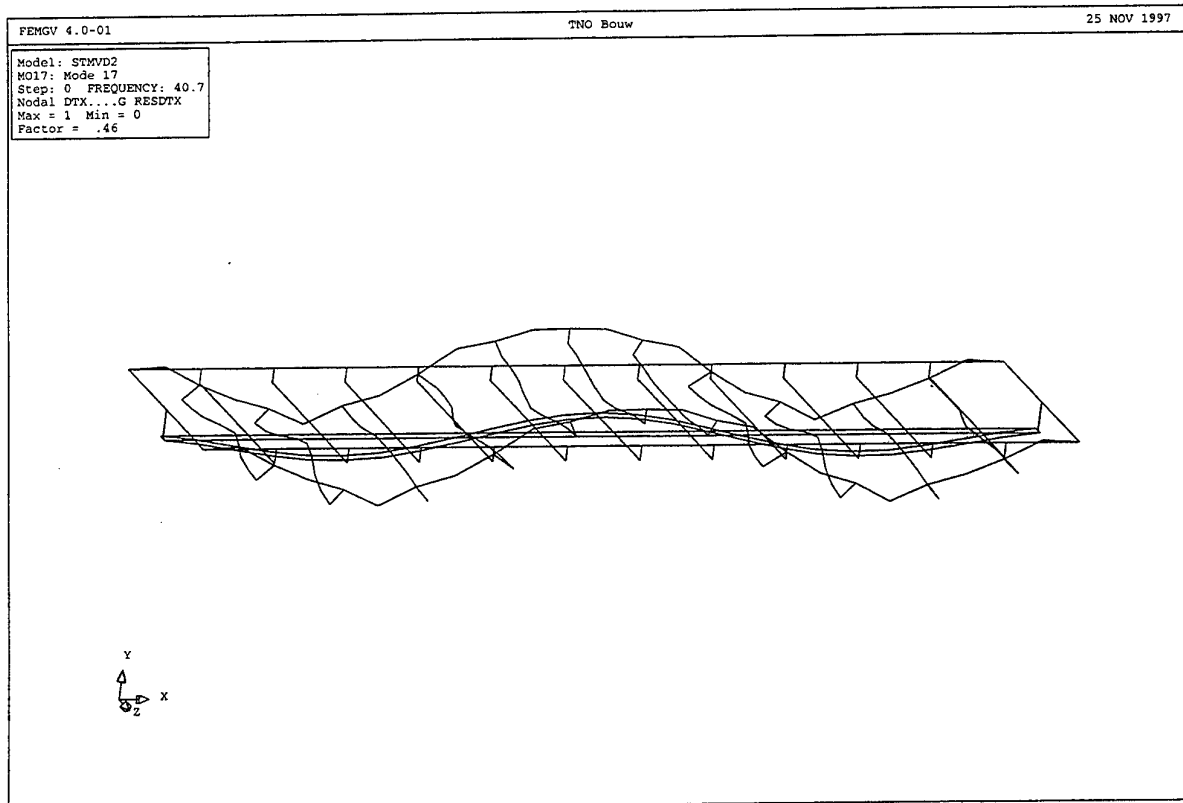


Fig 31. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 2. Mode 17; 40.7 Hz.

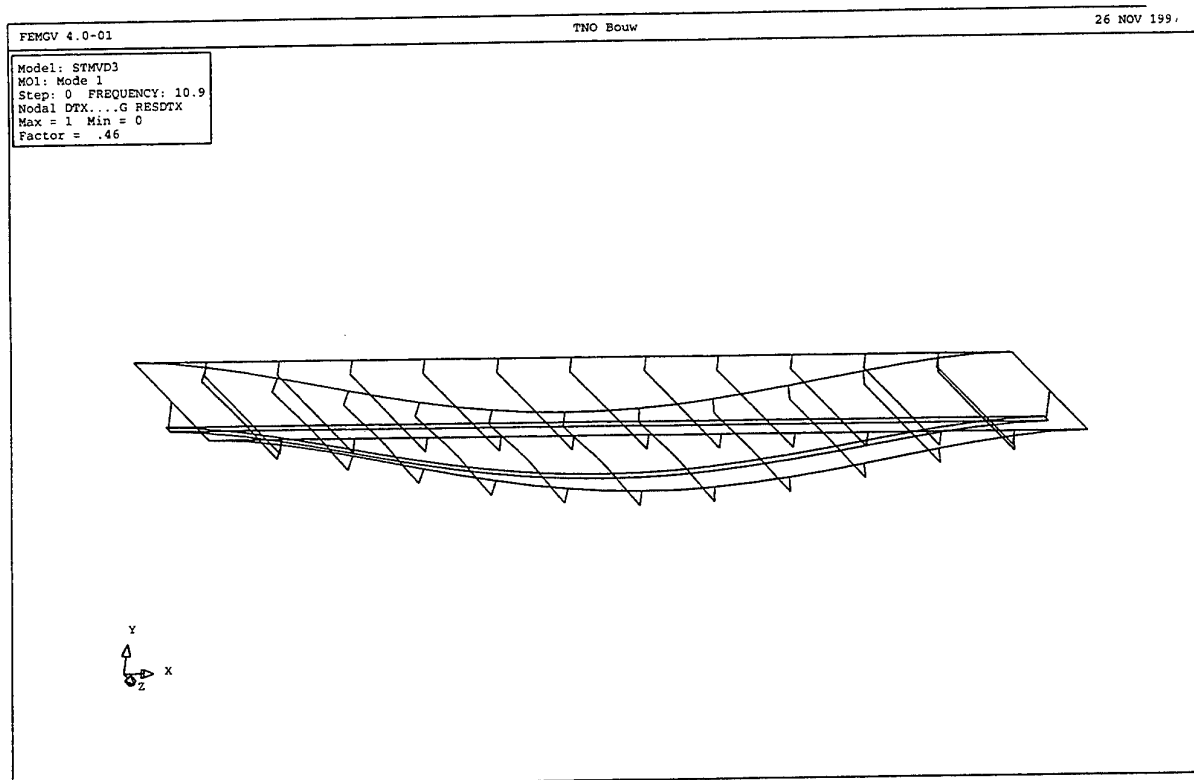


Fig 32. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 3. Mode 1; 10.9 Hz.

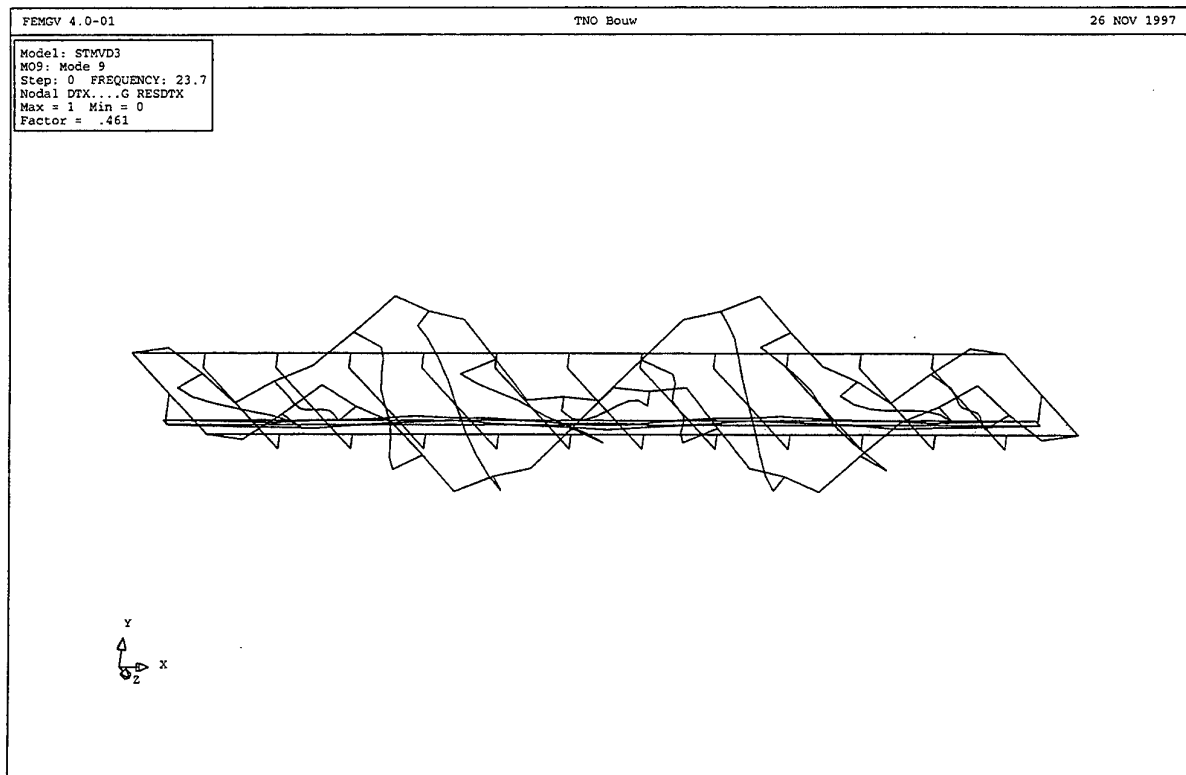


Fig 33. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 3. Mode 9; 23.7 Hz.

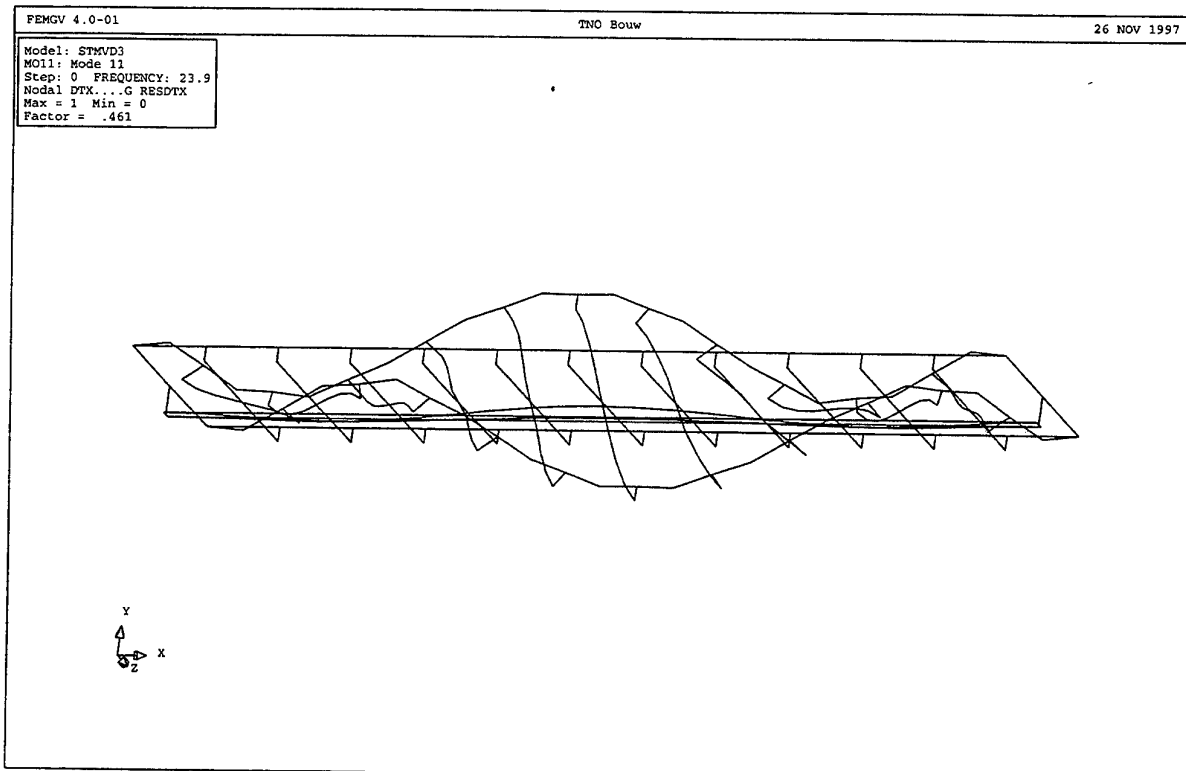


Fig 34. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 3. Mode 11; 23.9 Hz.

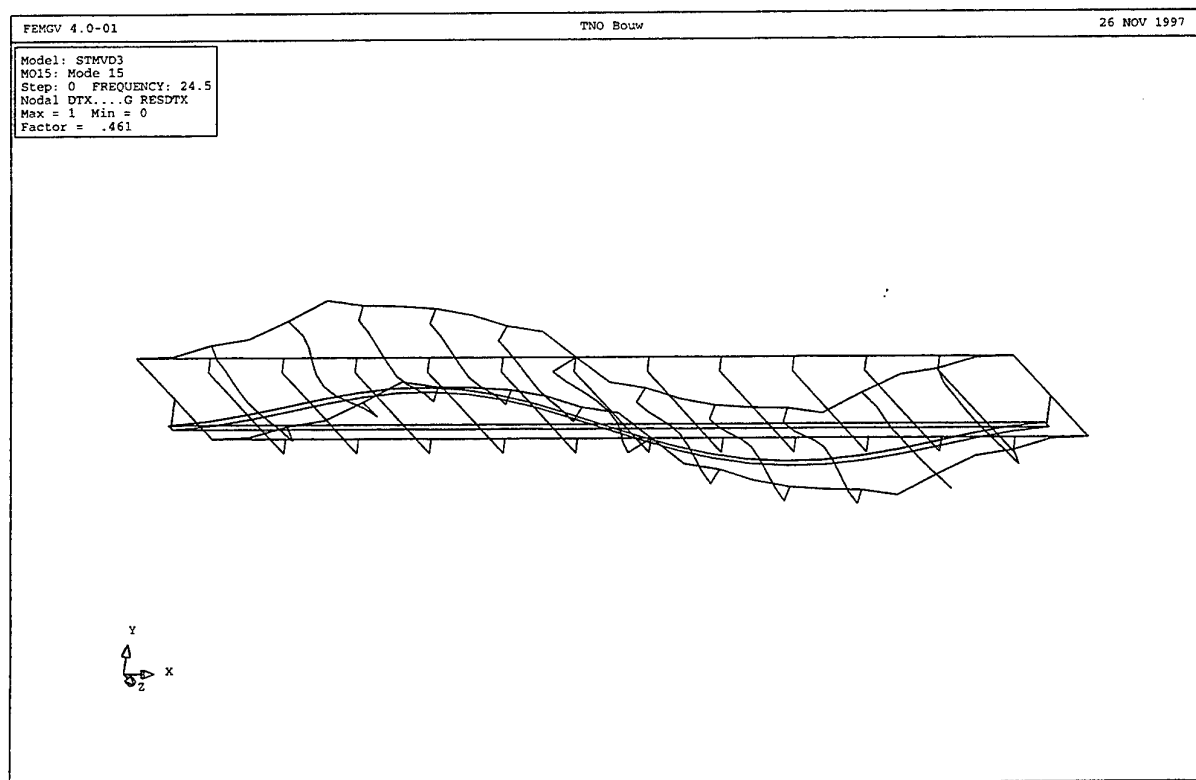


Fig 35. Stalen deksectie met langsverstijvers. Massaverdeling 3. Mode 15; 24.5 Hz.

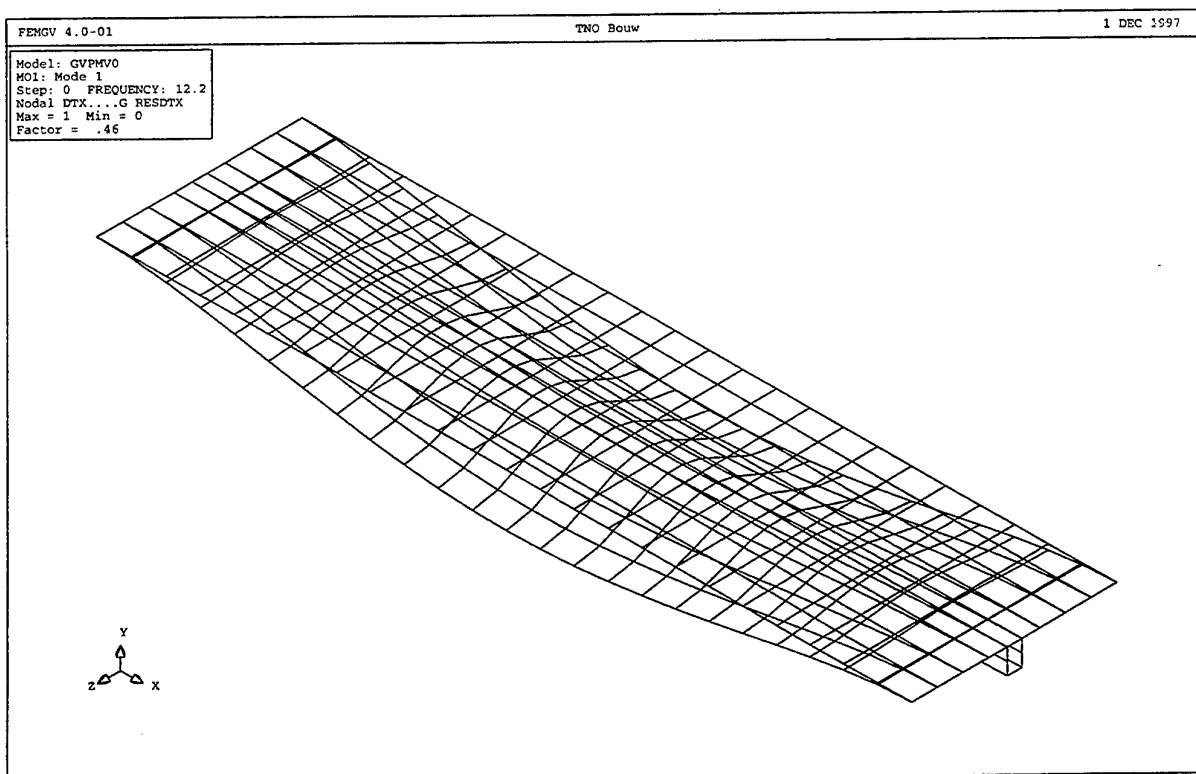


Fig 36. GVP deksectie. Massaverdeling 0. Mode 1; 12.2 Hz.

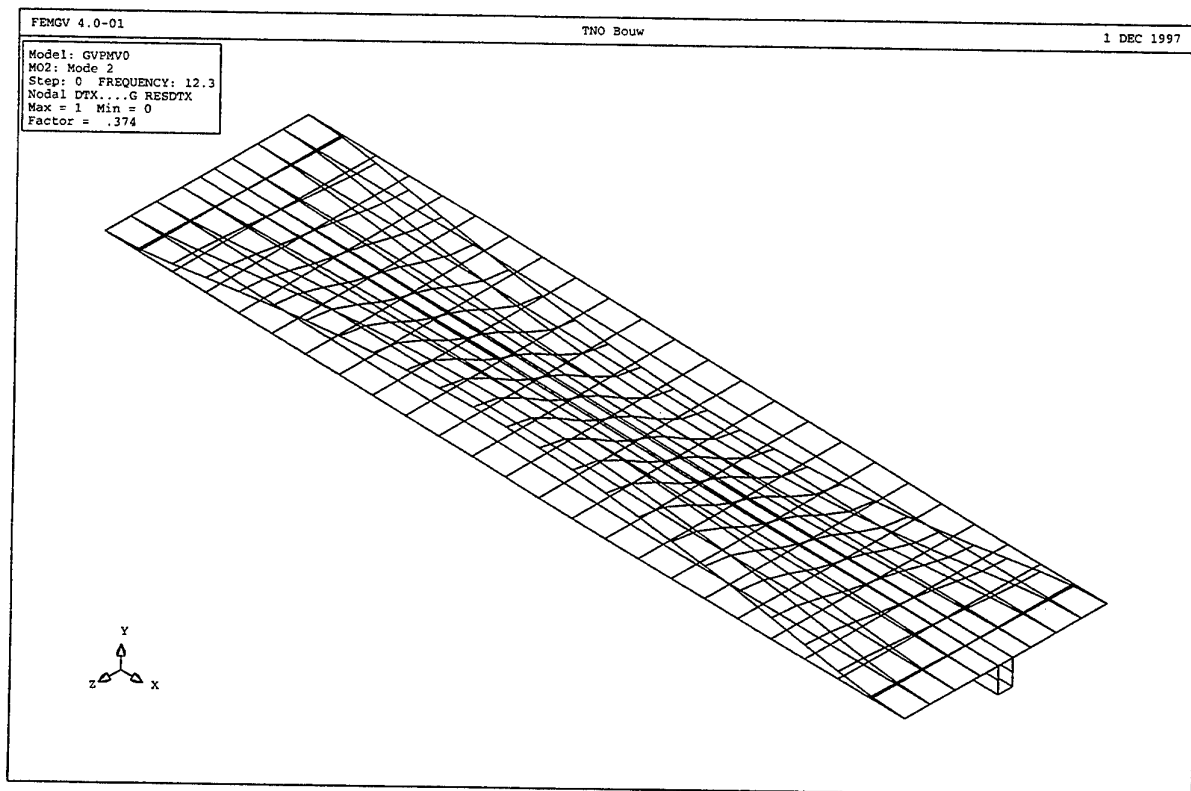


Fig 37. GVP deksectie. Massaverdeling 0. Mode 2; 12.3 Hz.

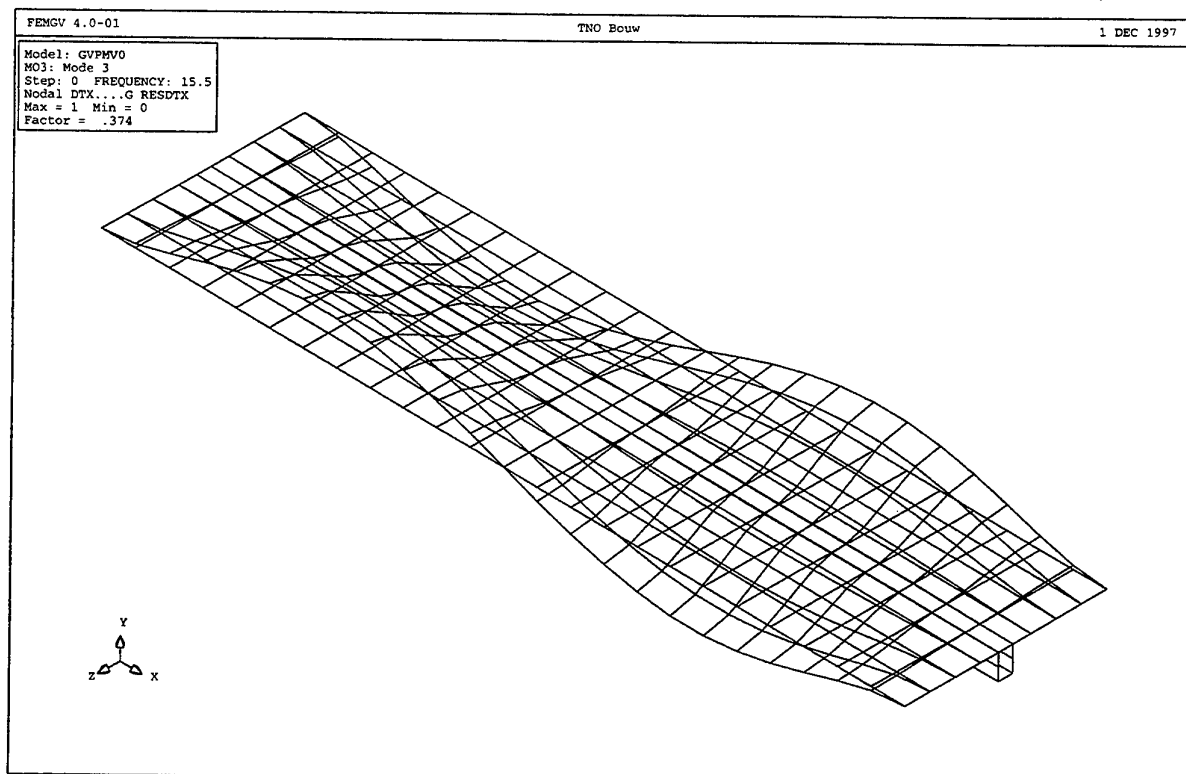


Fig 38. GVP deksectie. Massaverdeling 0. Mode 3; 15.5 Hz.

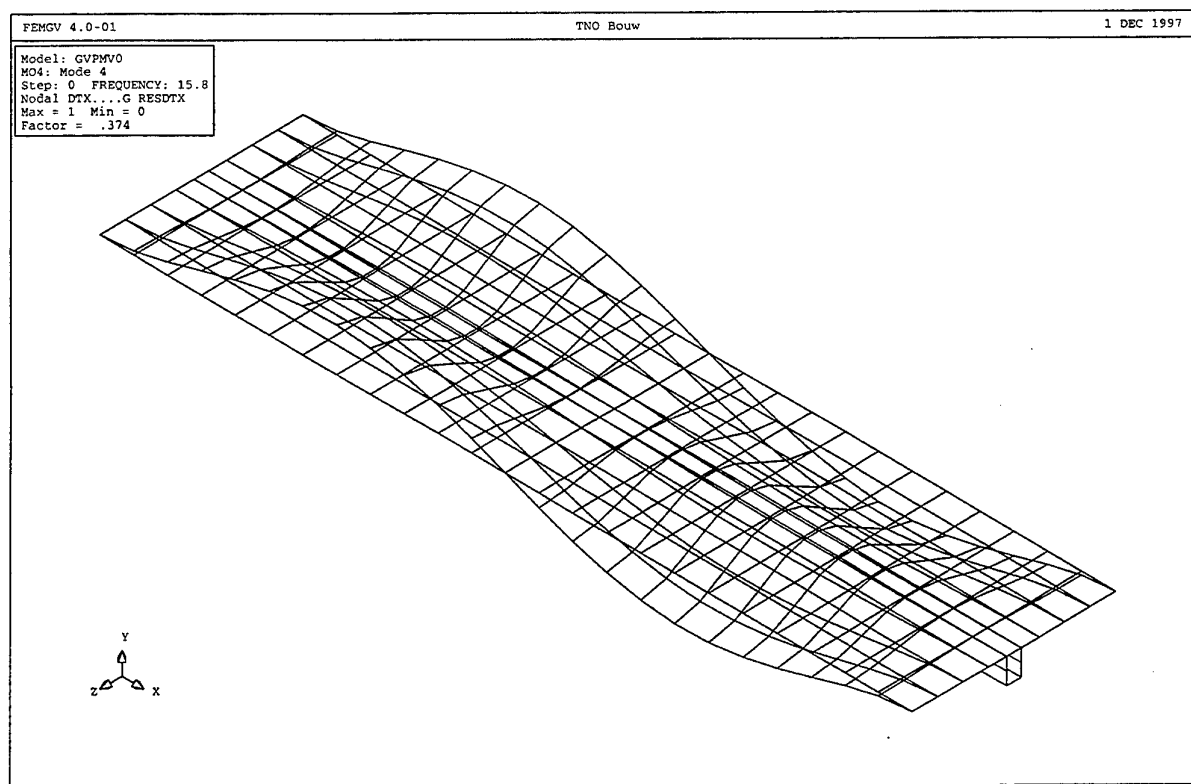


Fig 39. GVP deksectie. Massaverdeling 0. Mode 4; 15.8 Hz.

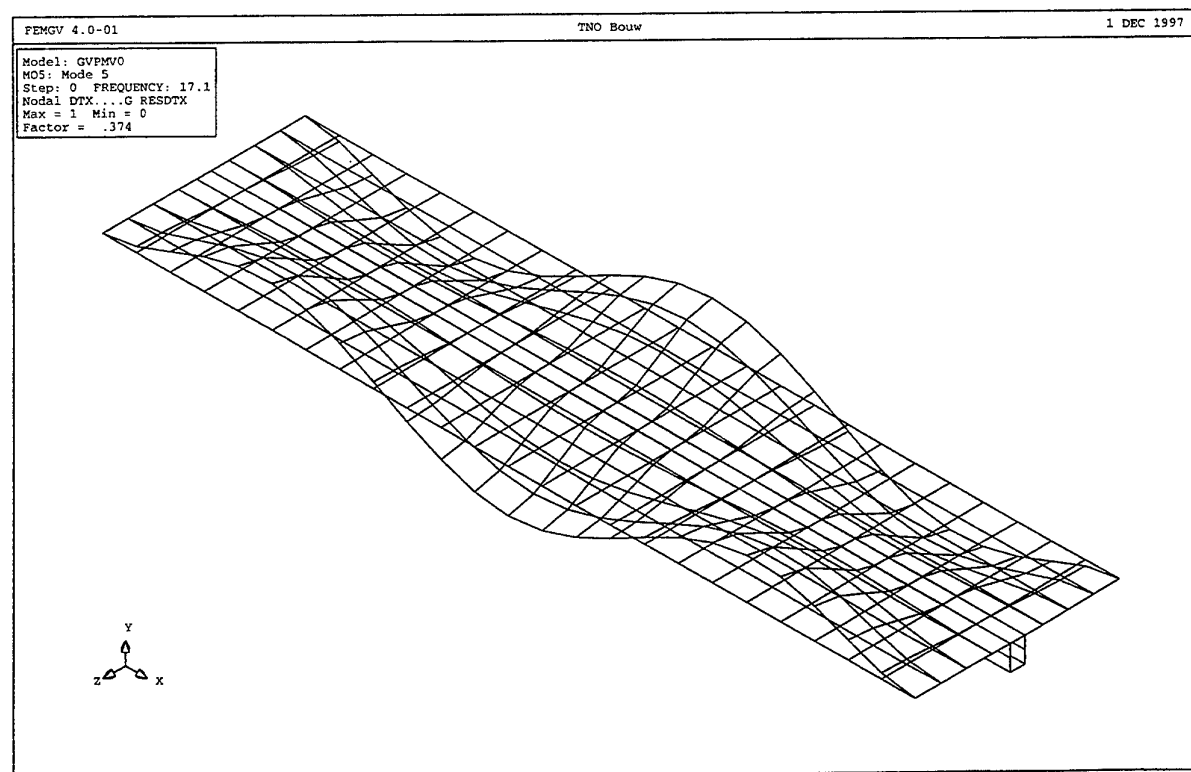


Fig 40. GVP deksectie. Massaverdeling 0. Mode 5; 17.1 Hz.

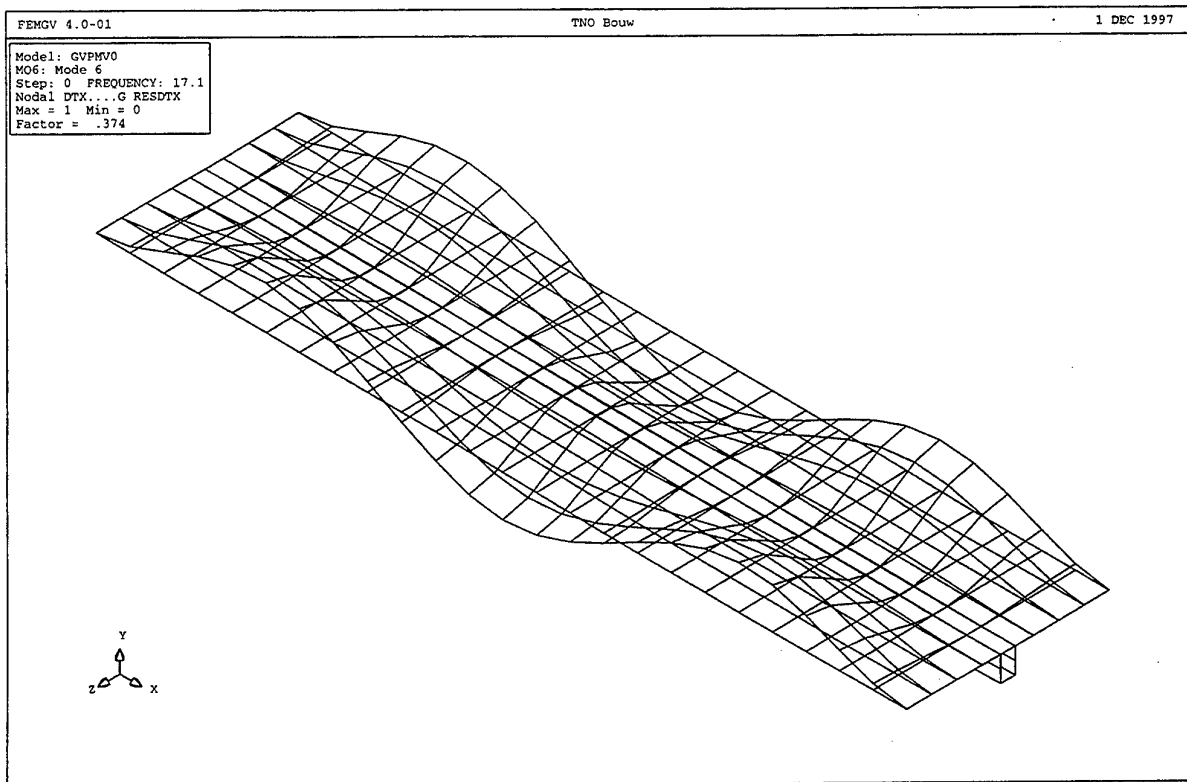


Fig 41. GVP deksectie. Massaverdeling 0. Mode 6; 17.1 Hz.

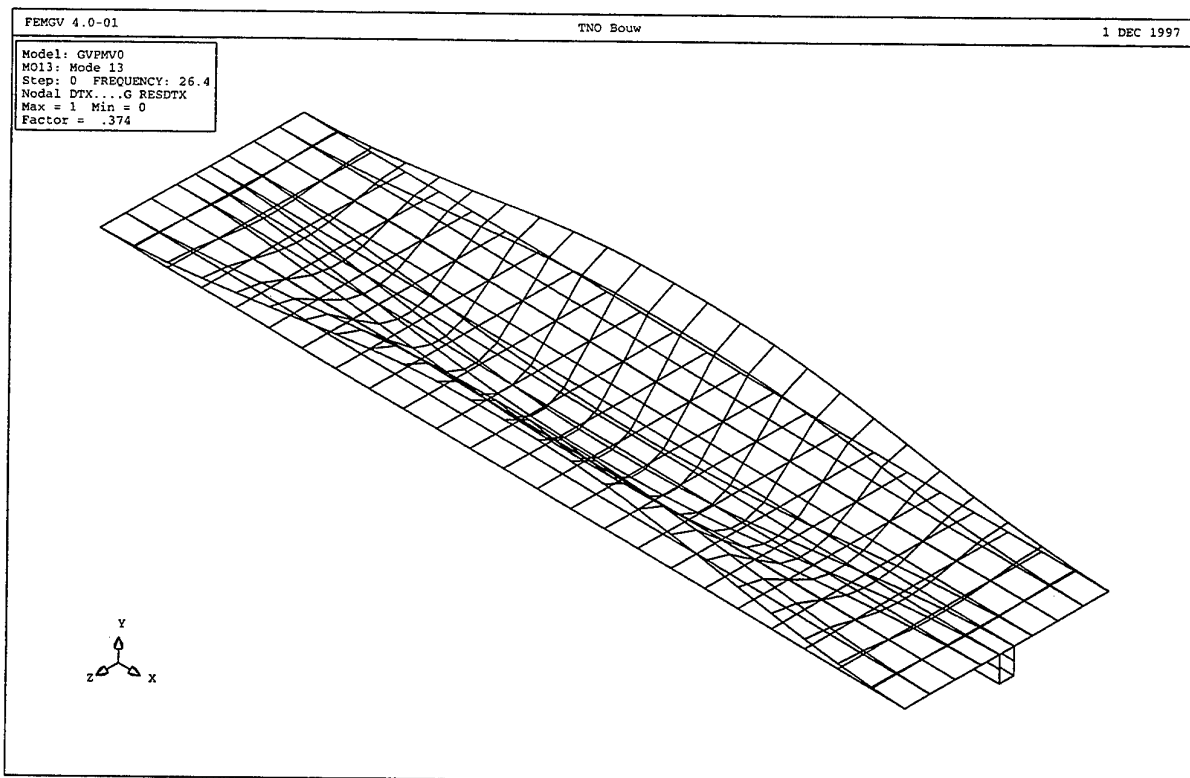


Fig 42. GVP deksectie. Massaverdeling 0. Mode 13; 26.4 Hz.

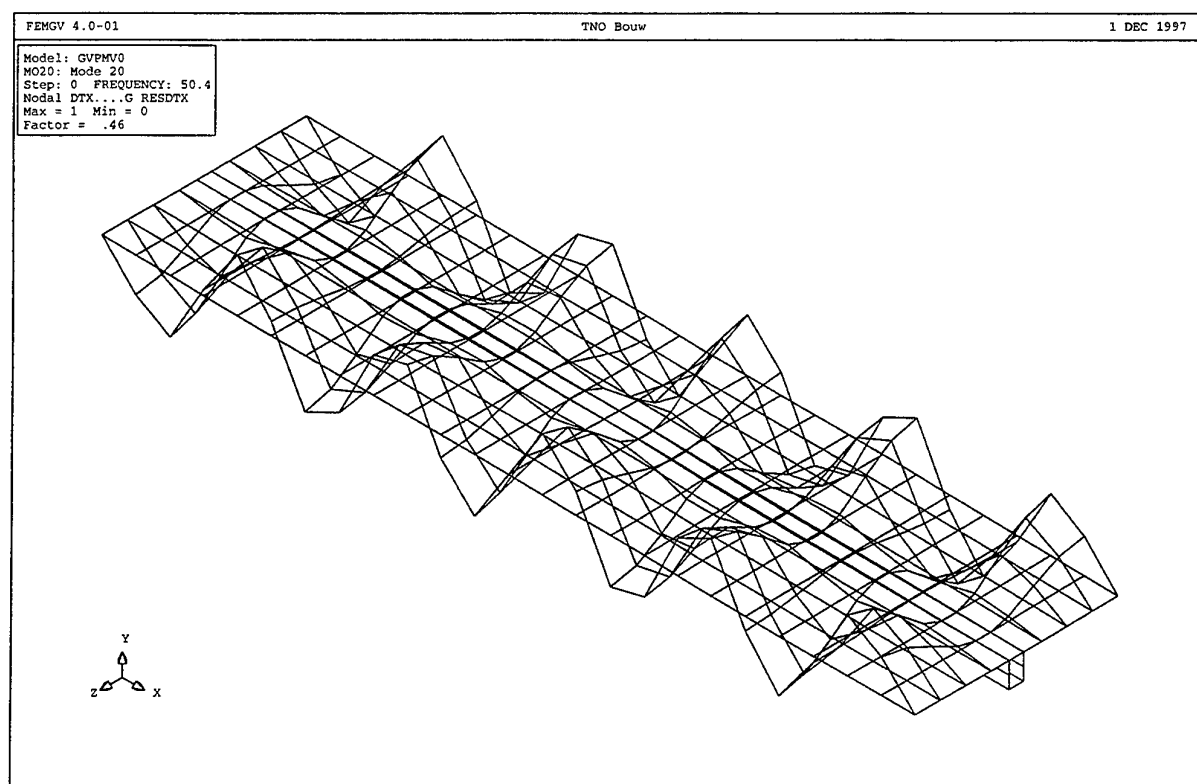


Fig 43. GVP deksectie. Massaverdeling 0. Mode 20; 50.4 Hz.

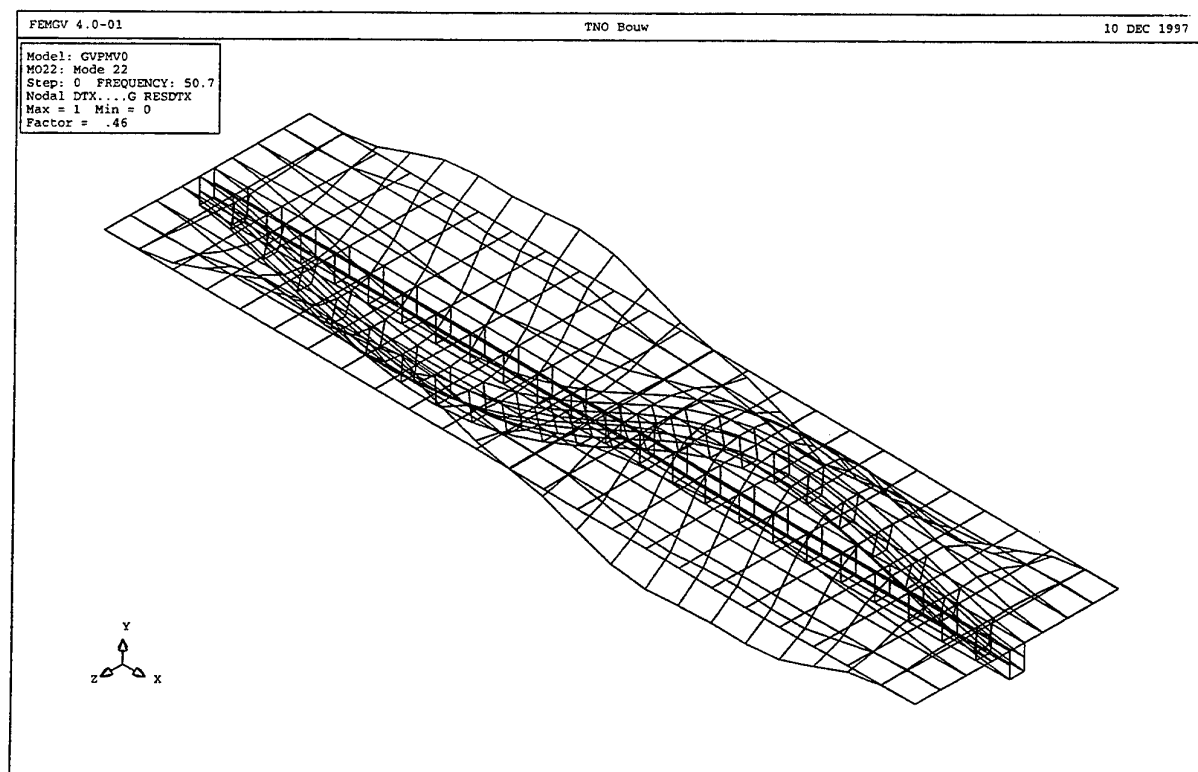


Fig 44. GVP deksectie. Massaverdeling 0. Mode 22; 50.7 Hz.

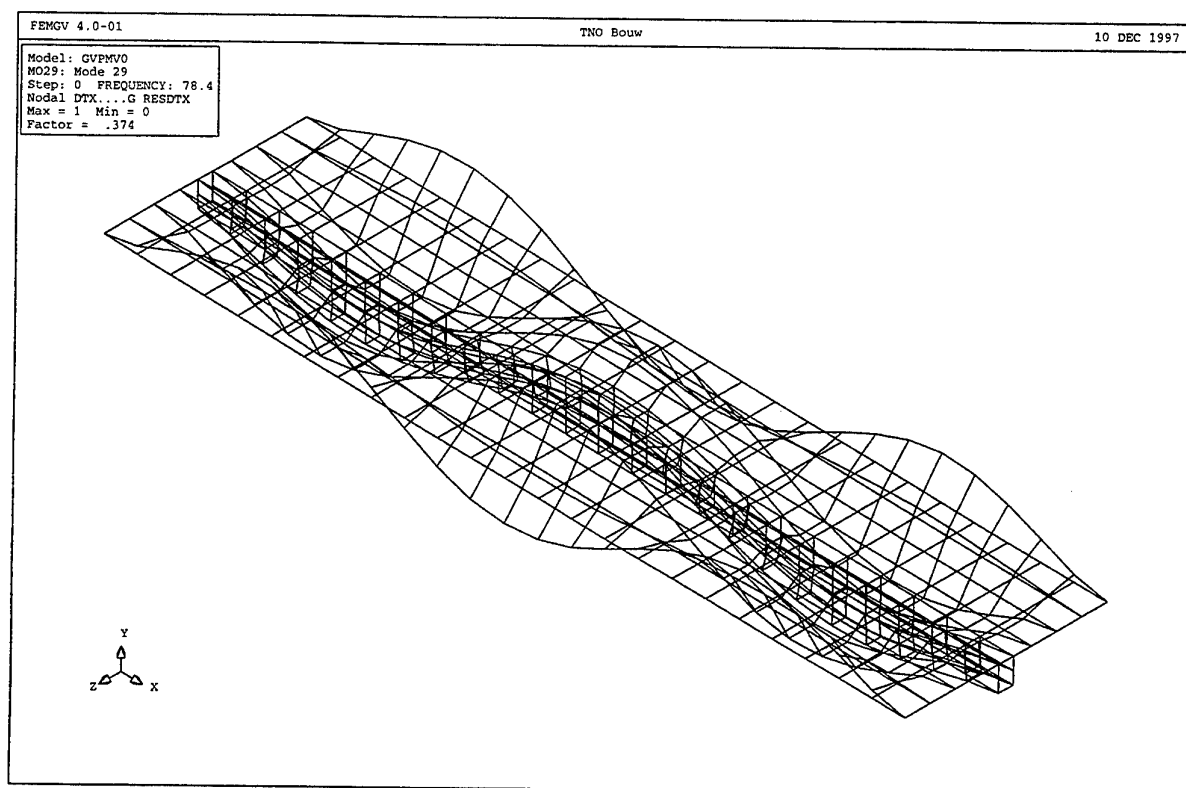


Fig 45. GVP deksectie. Massaverdeling 0. Mode 29; 78.4 Hz.

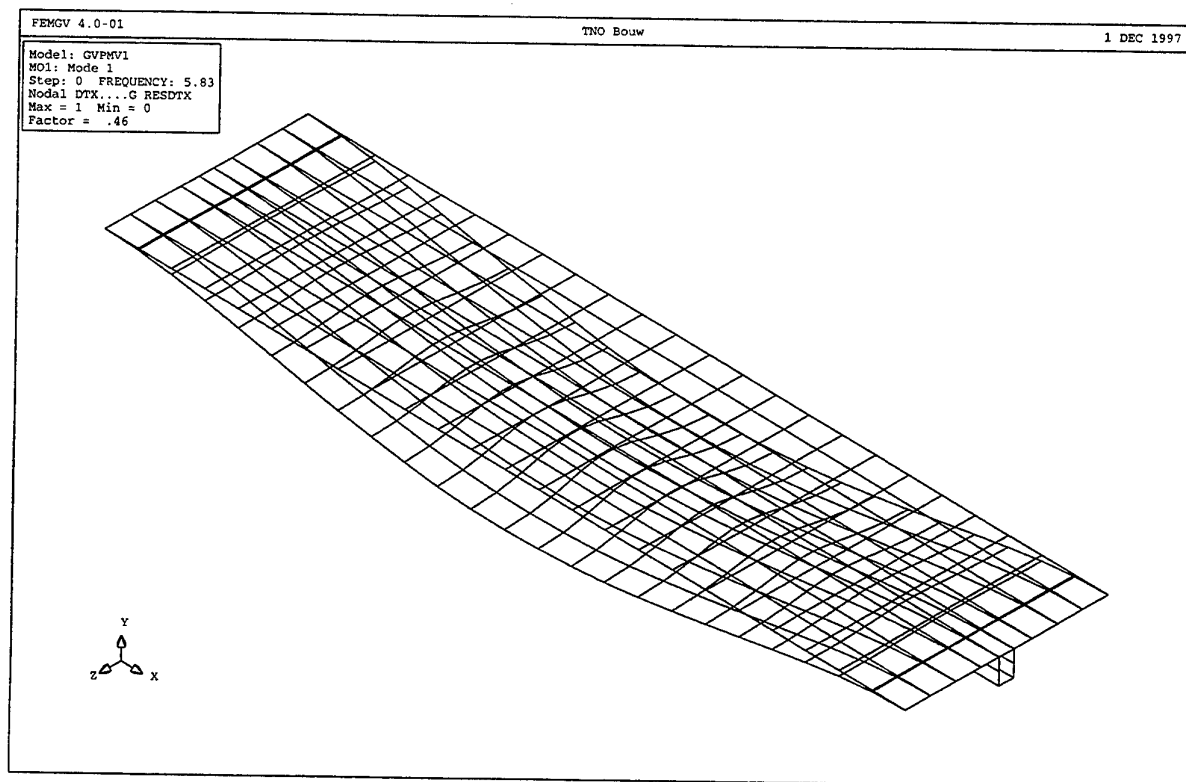


Fig 46. GVP deksectie. Massaverdeling 1. Mode 1; 5.83 Hz.

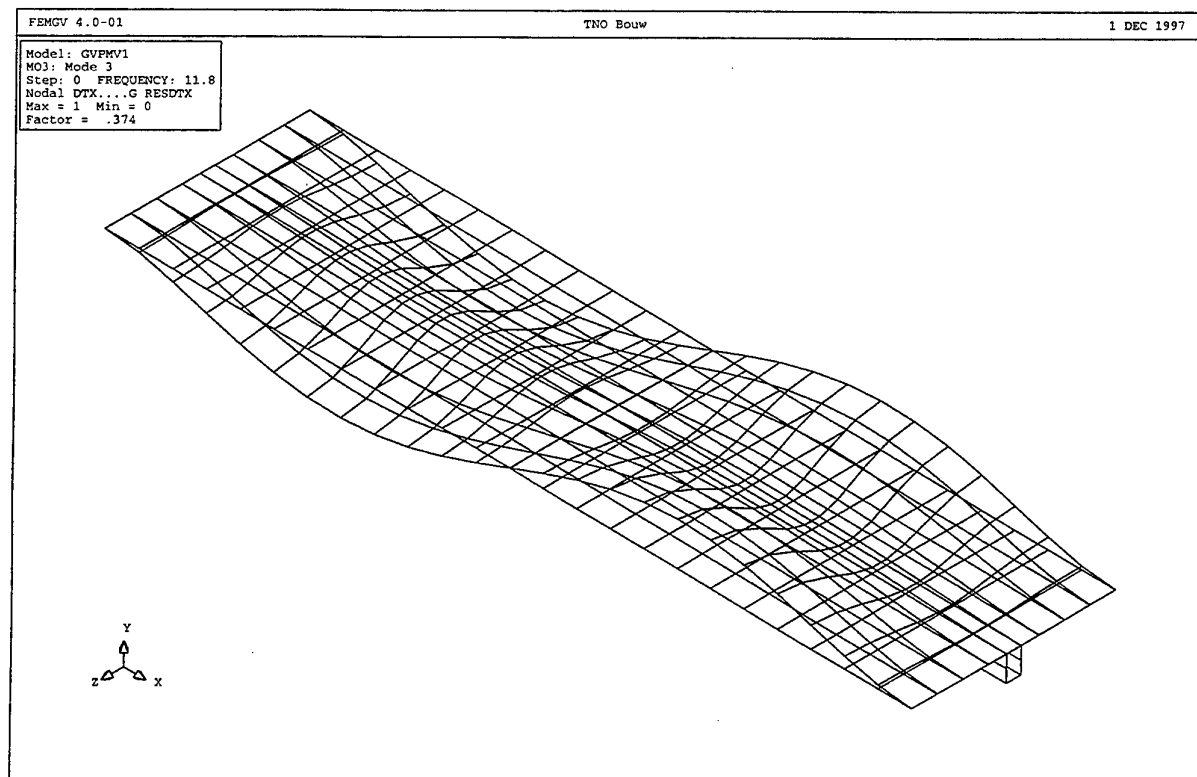


Fig 47. GVP deksectie. Massaverdeling 1. Mode 3; 11.8 Hz.

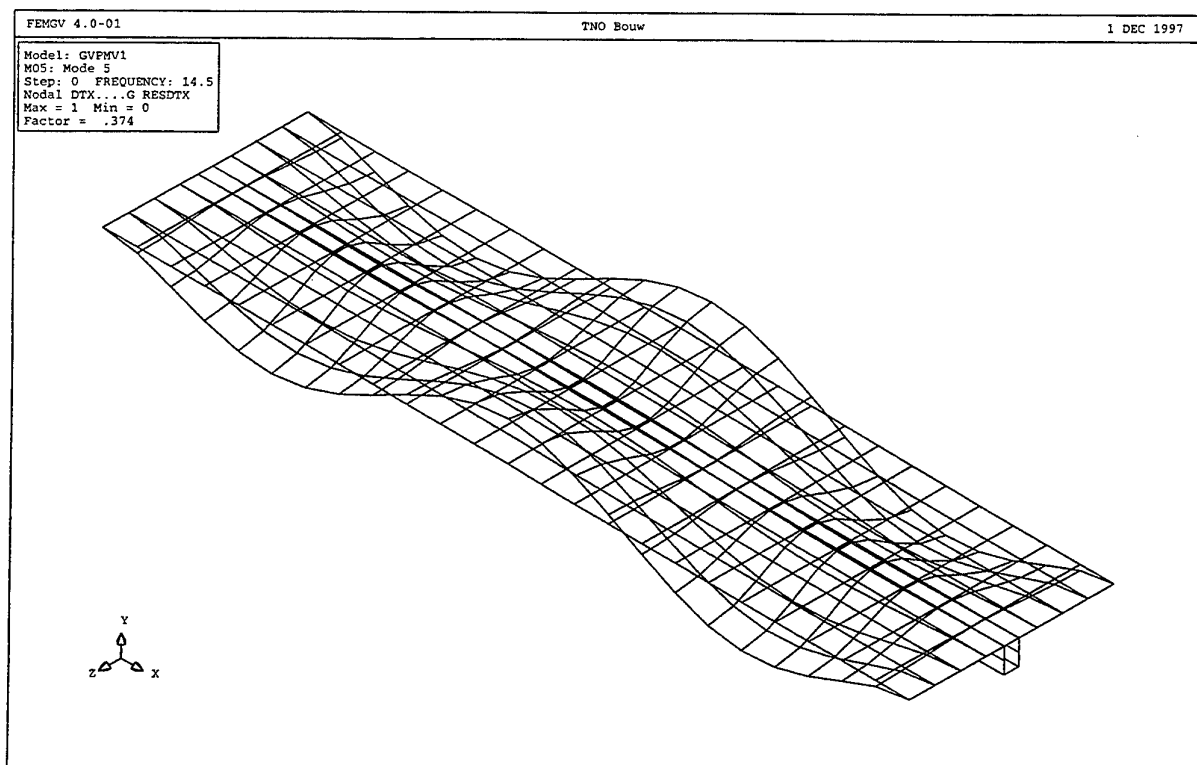


Fig 48. GVP deksectie. Massaverdeling 1. Mode 5; 14.5 Hz.

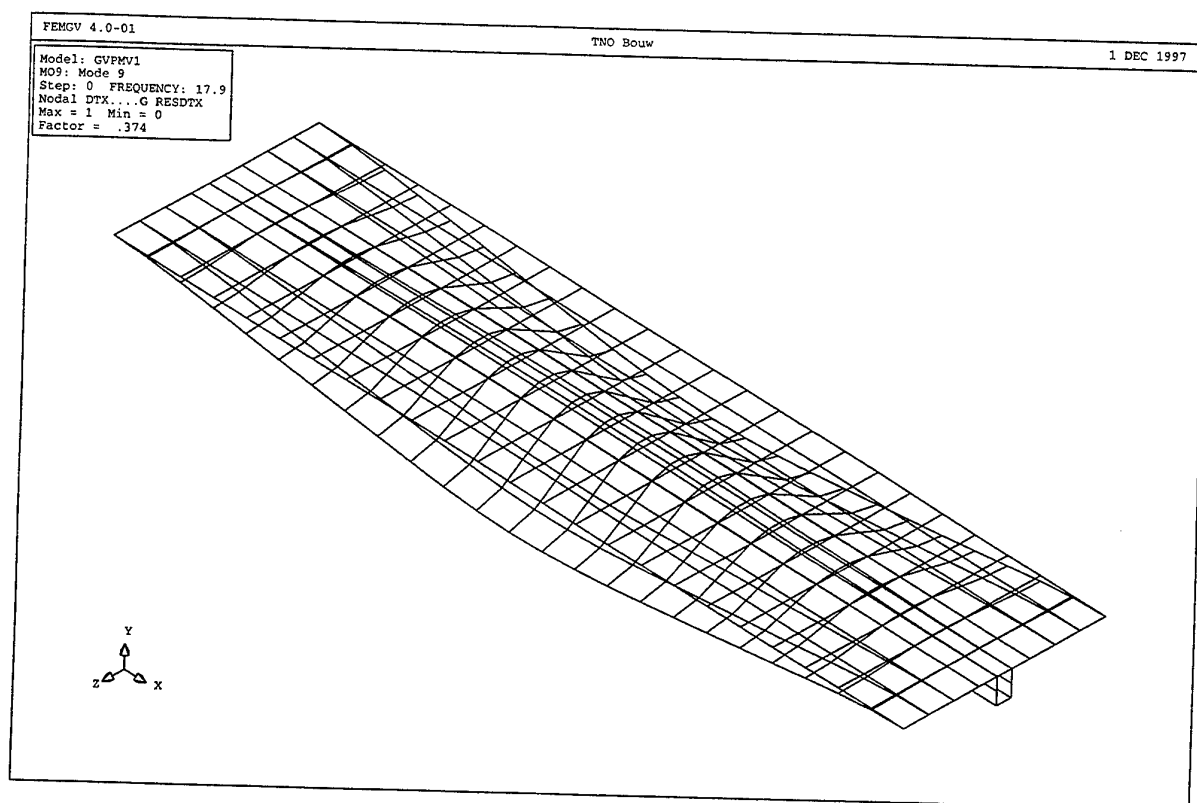


Fig 49. GVP deksectie. Massaverdeling 1. Mode 9; 17.9 Hz.

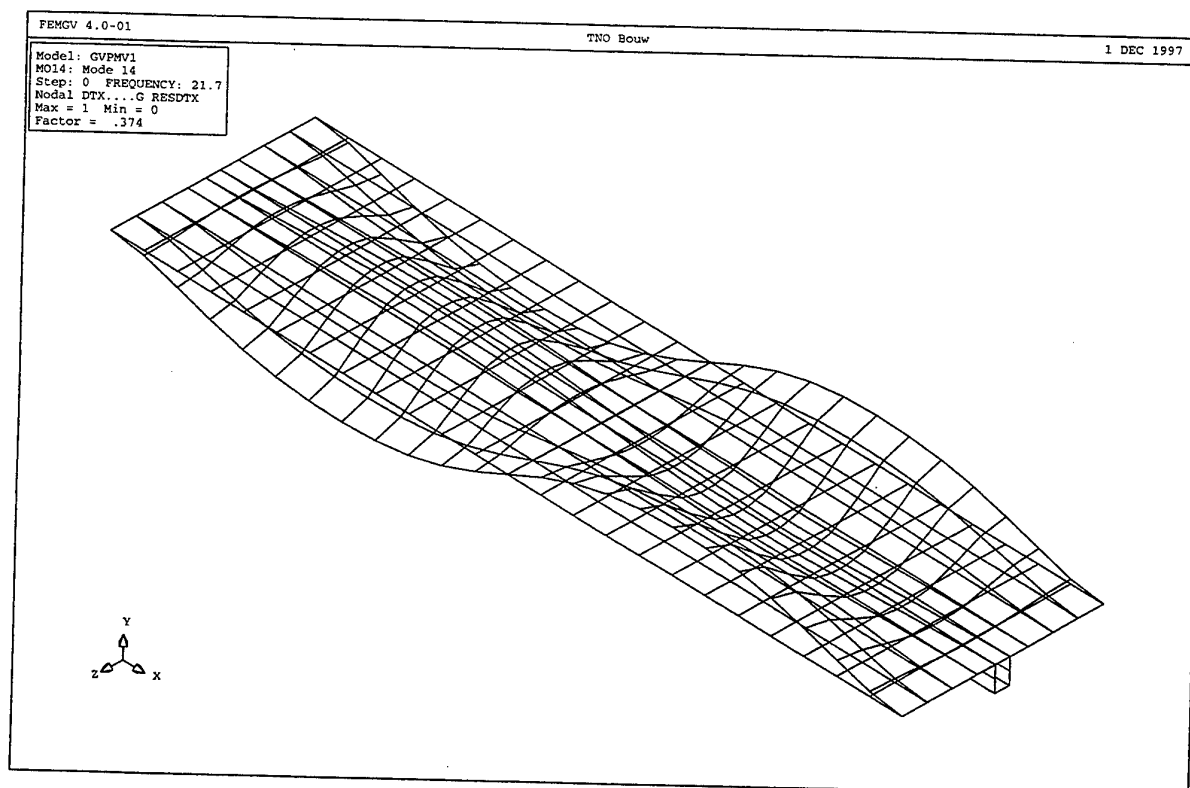


Fig 50. GVP deksectie. Massaverdeling 1. Mode 14; 21.7 Hz.

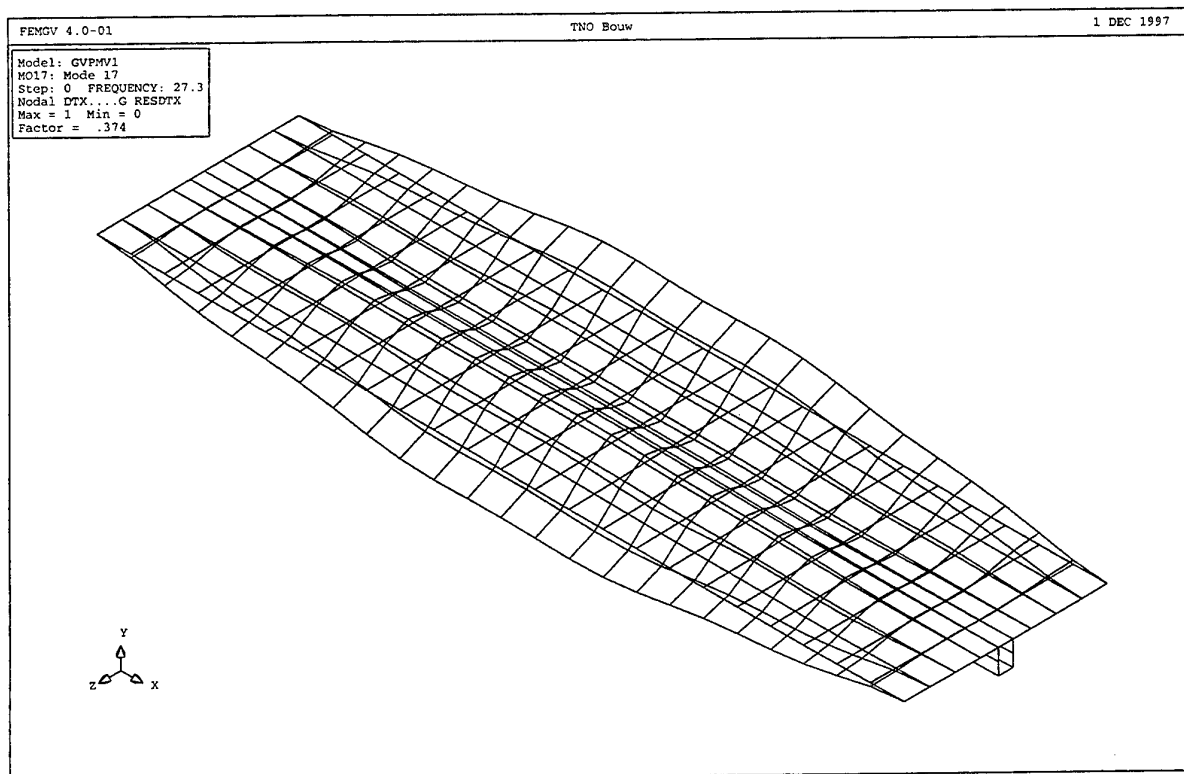


Fig 51. GVP deksectie. Massaverdeling 1. Mode 17; 27.28 Hz.

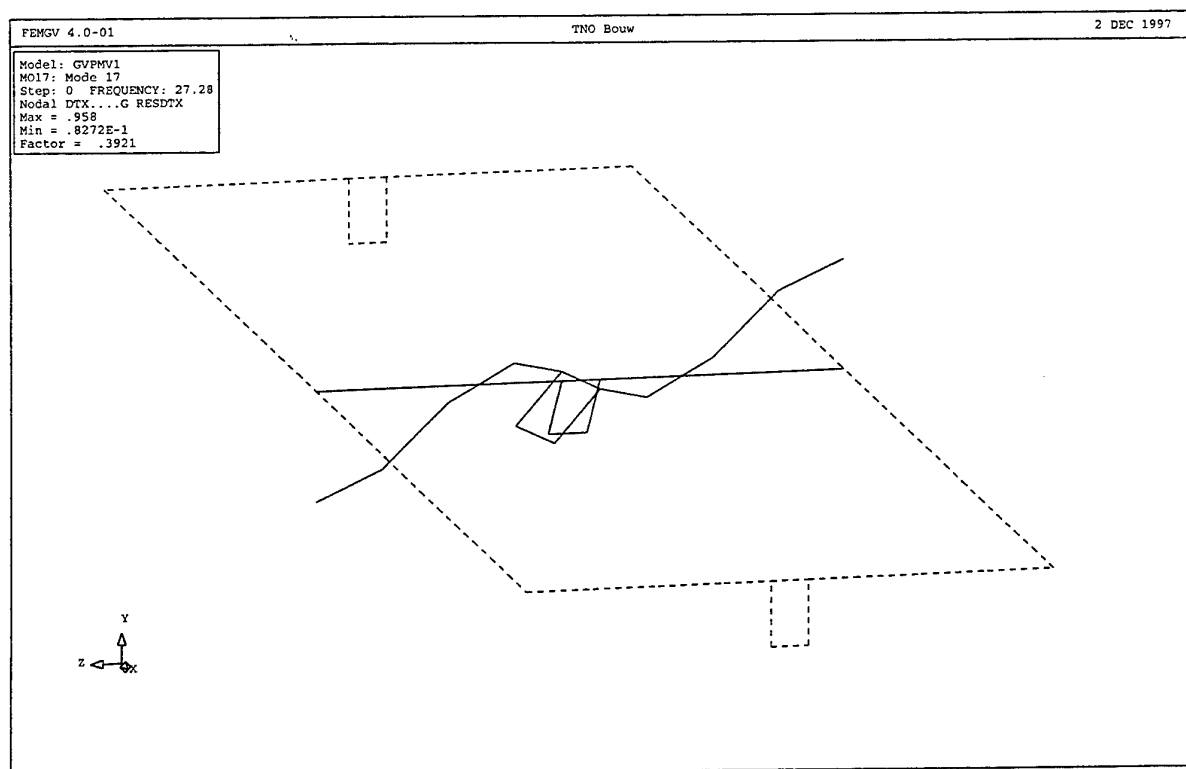


Fig 52. GVP deksectie. Massaverdeling 1. Mode 17; 27.28 Hz.

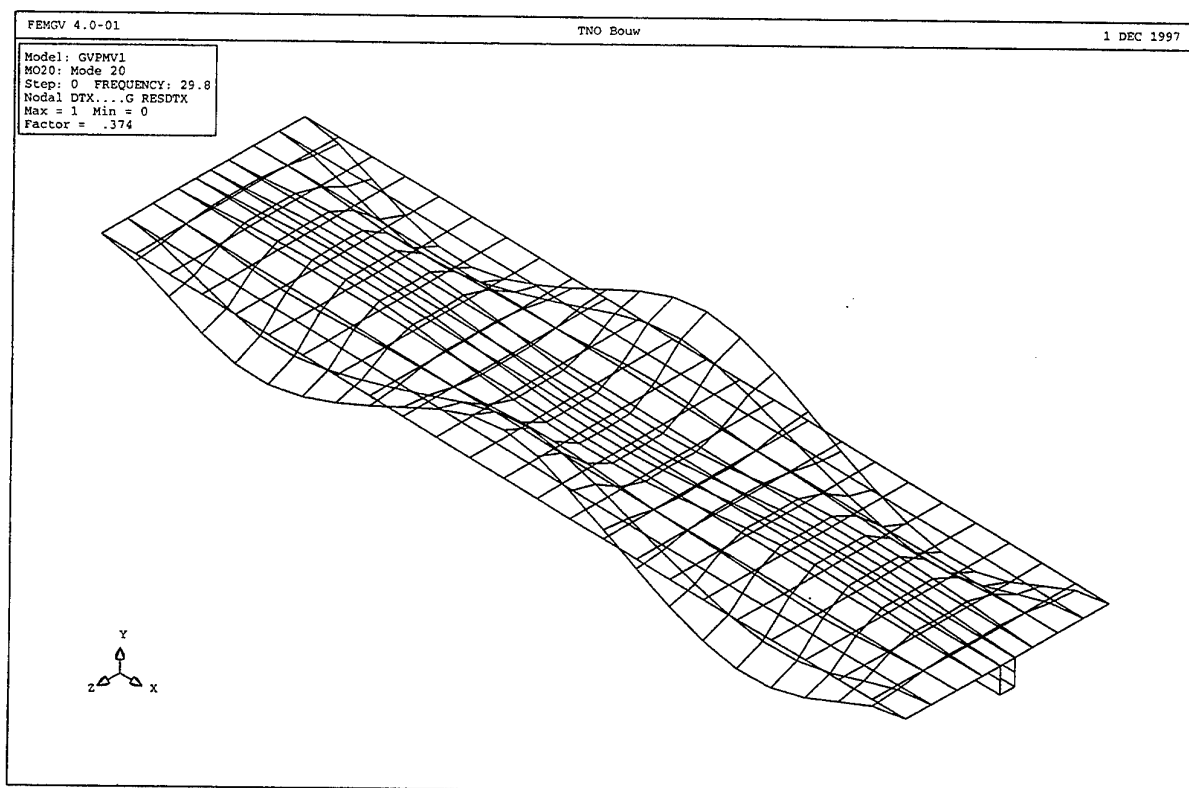


Fig 53. GVP deksectie. Massaverdeling 1. Mode 20; 29.8 Hz.

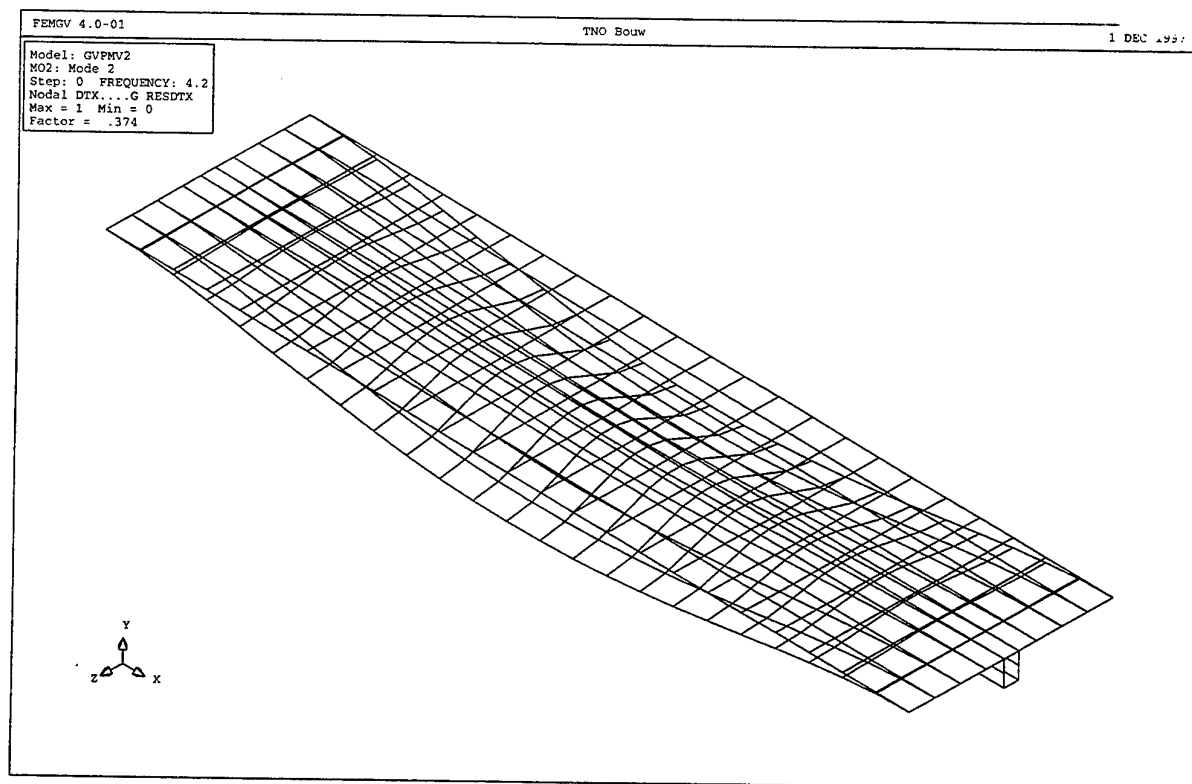


Fig 54. GVP deksectie. Massaverdeling 2. Mode 2; 4.2 Hz.

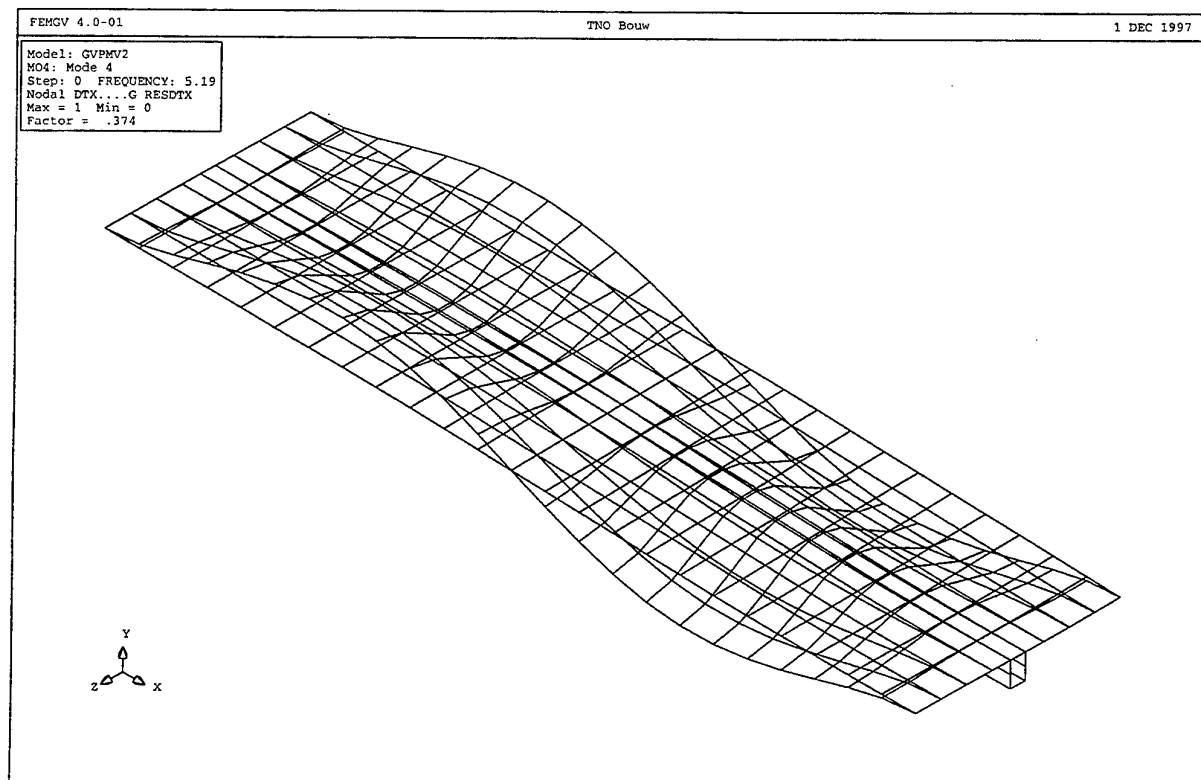


Fig 55. GVP deksectie. Massaverdeling 2. Mode 4; 5.19 Hz.

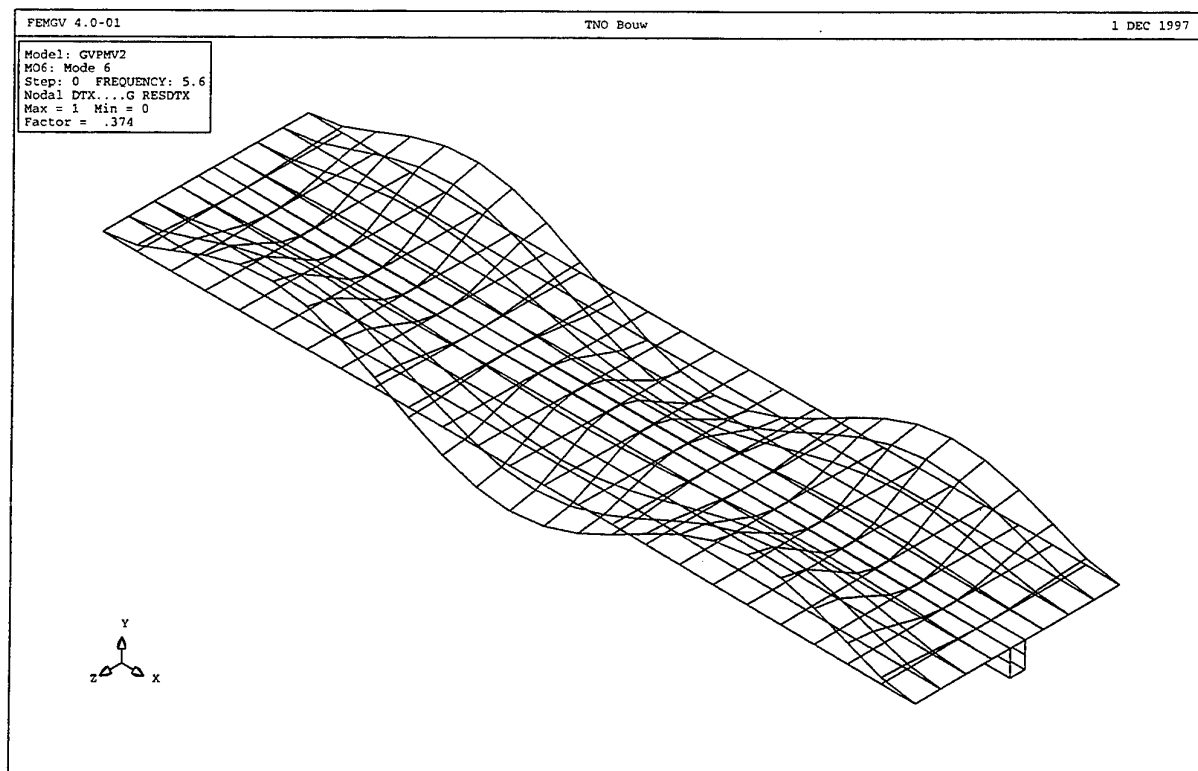


Fig 56. GVP deksectie. Massaverdeling 2. Mode 6; 5.6 Hz.

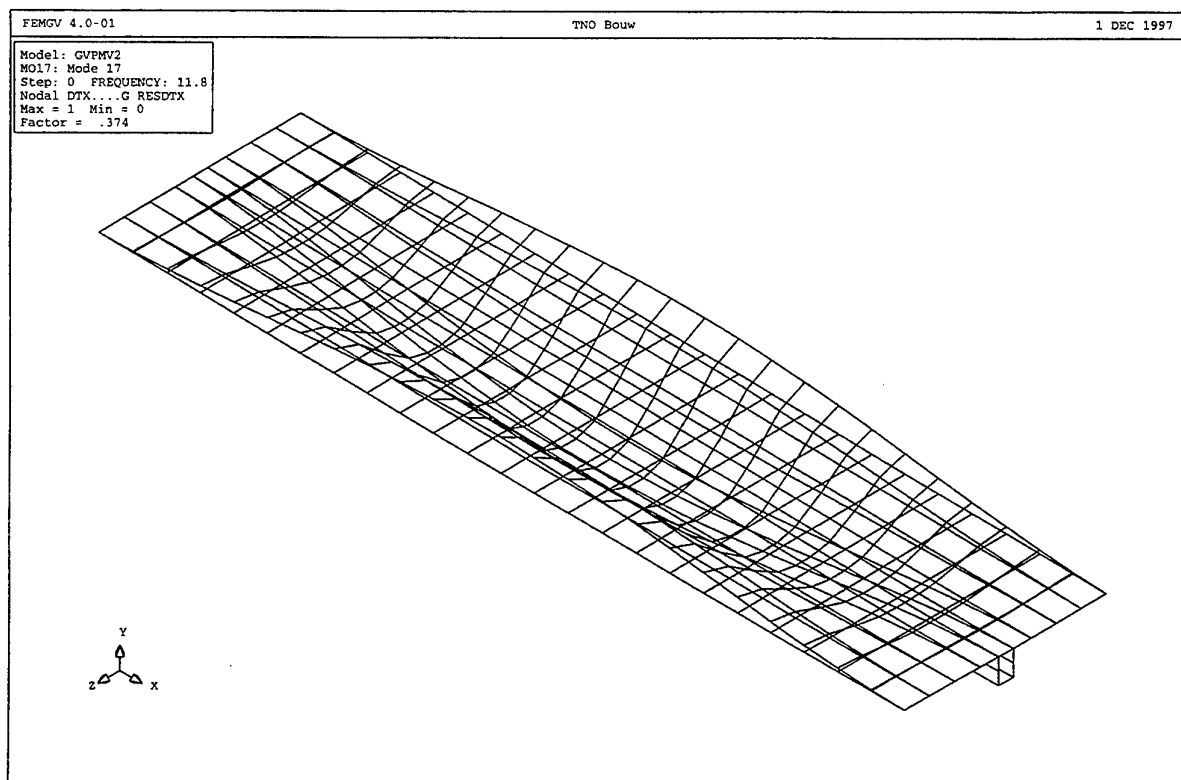


Fig 57. GVP deksectie. Massaverdeling 2. Mode 17; 11.8 Hz.

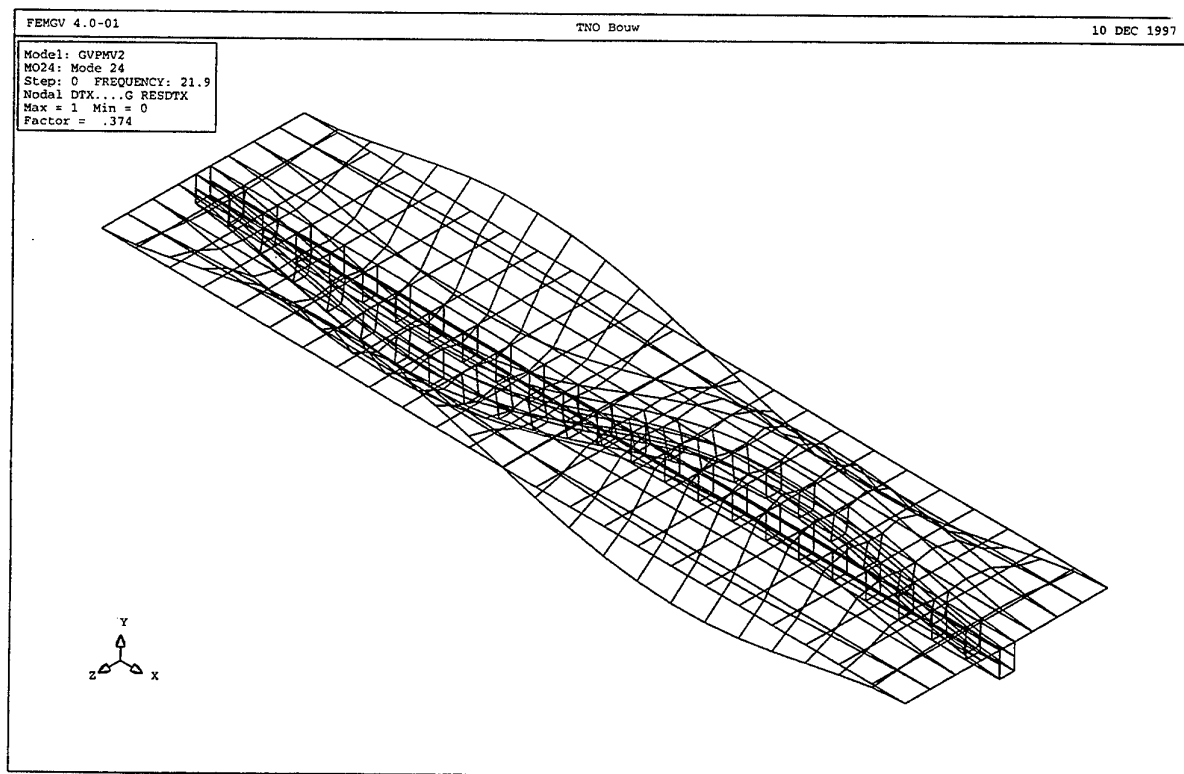


Fig 58. GVP deksectie. Massaverdeling 2. Mode 24; 21.9 Hz.

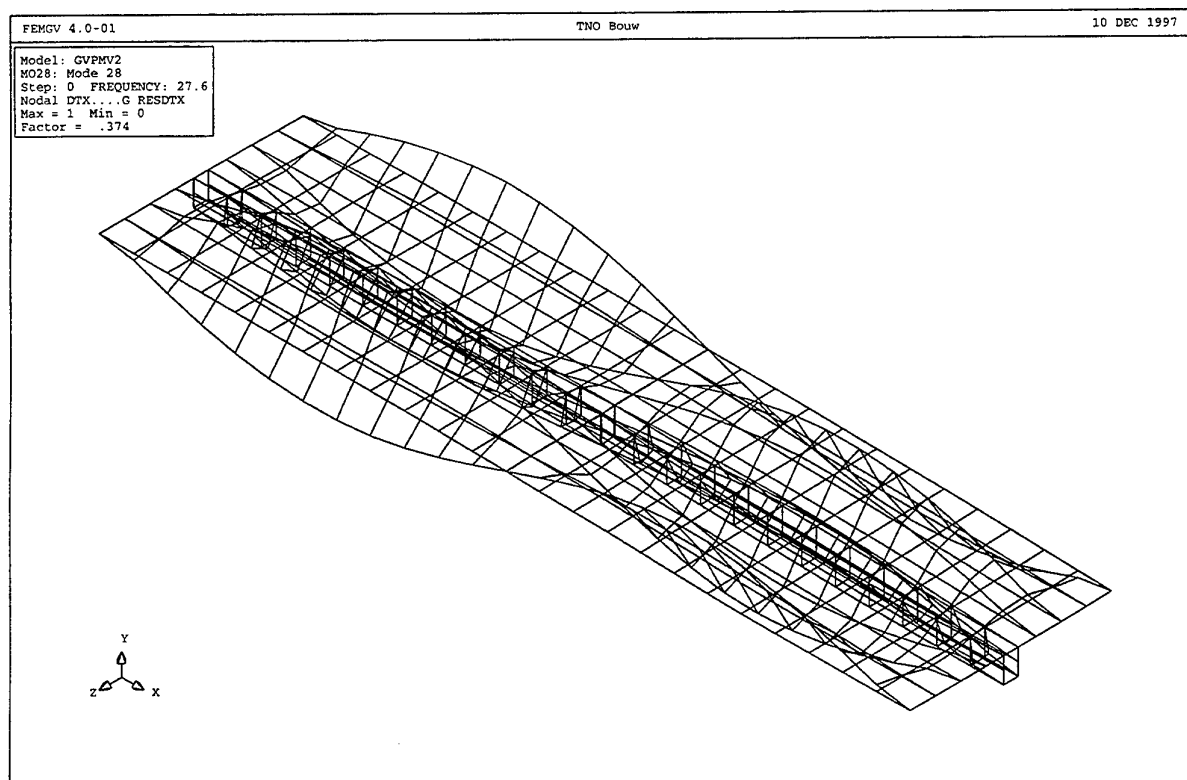


Fig 59. GVP deksectie. Massaverdeling 2. Mode 28; 27.6 Hz.

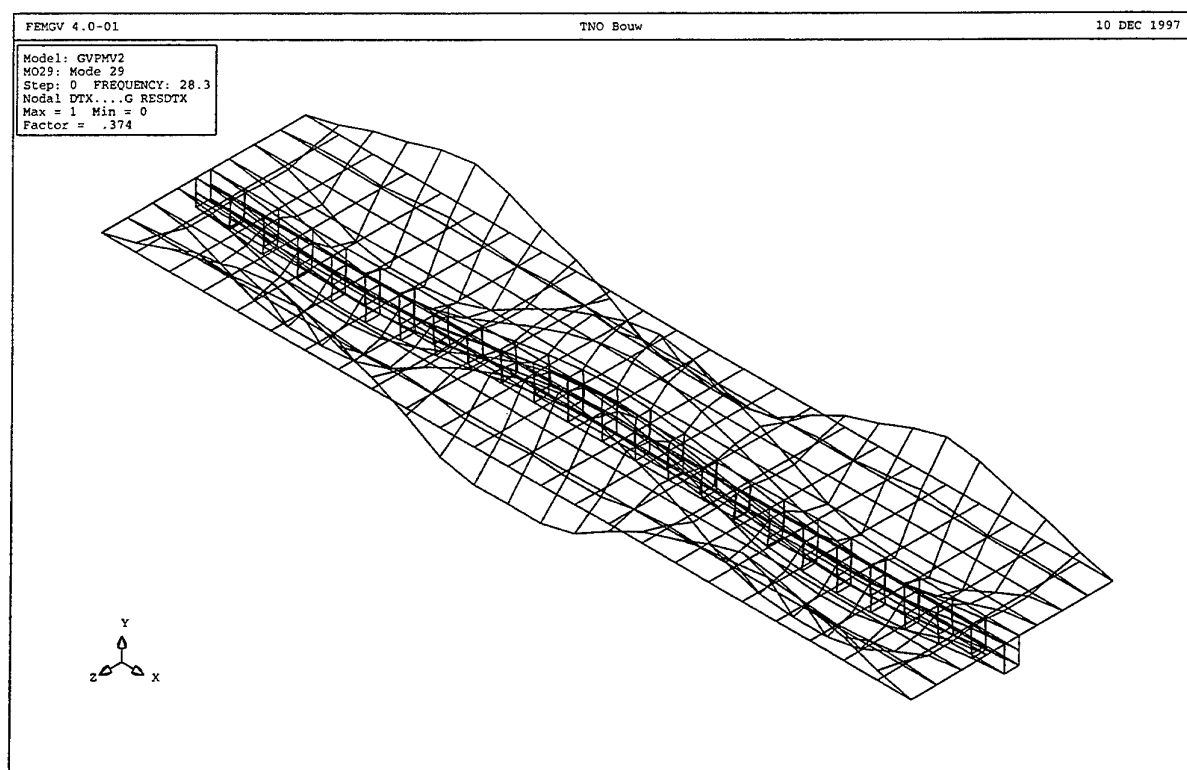


Fig 60. GVP deksectie. Massaverdeling 2. Mode 29; 28.3 Hz.

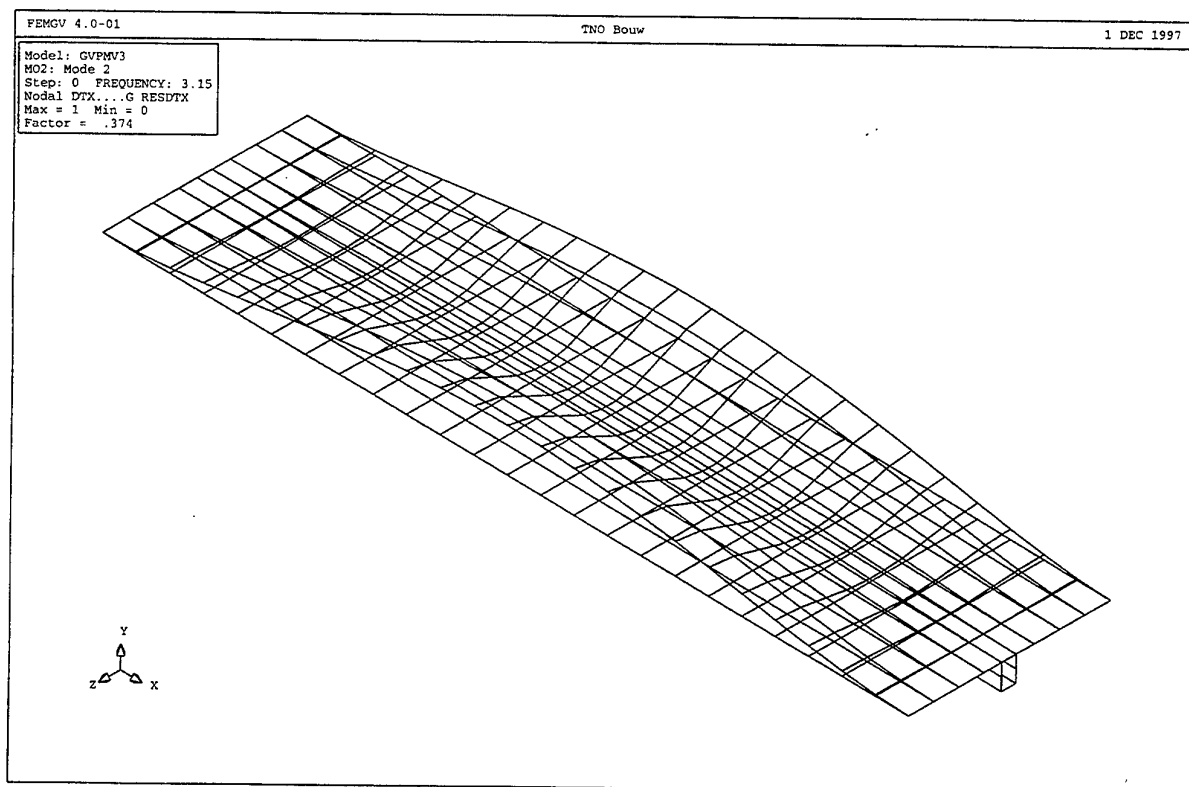


Fig 61. GVP deksectie. Massaverdeling 3. Mode 2; 3.15 Hz.

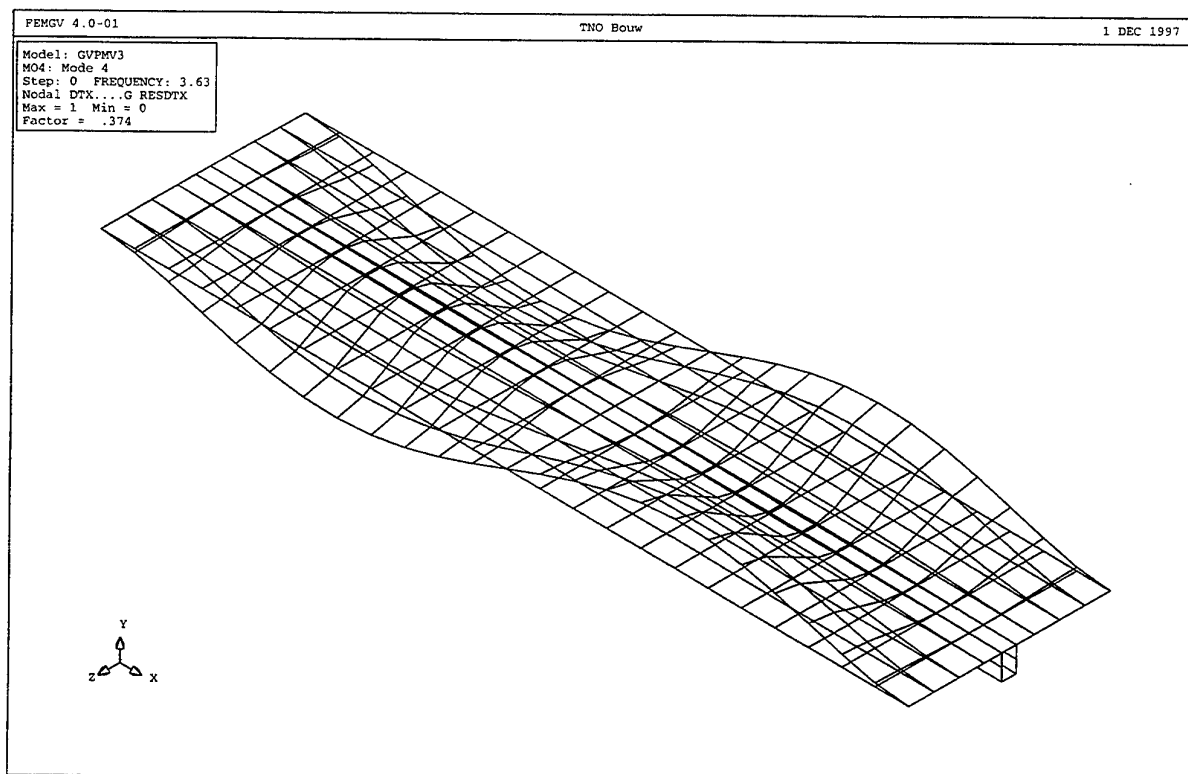


Fig 62. GVP deksectie. Massaverdeling 3. Mode 4; 3.63 Hz.

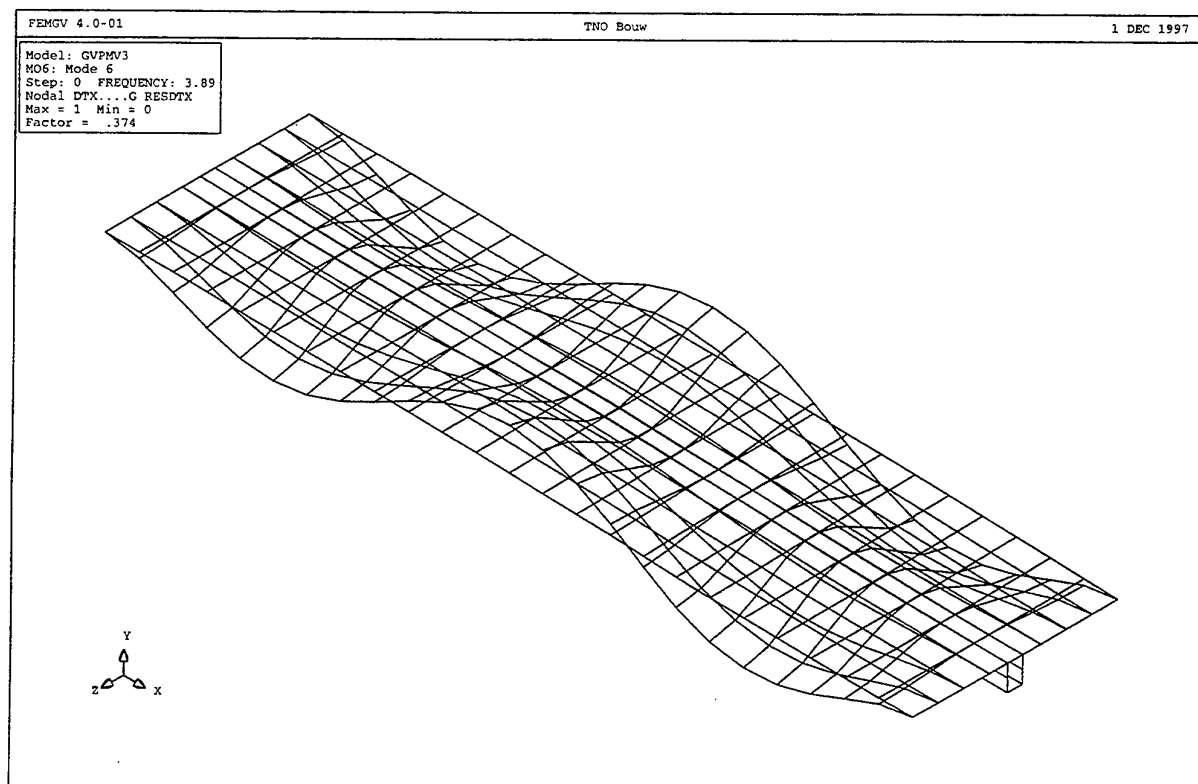


Fig 63. GVP deksectie. Massaverdeling 3. Mode 6; 3.89 Hz.

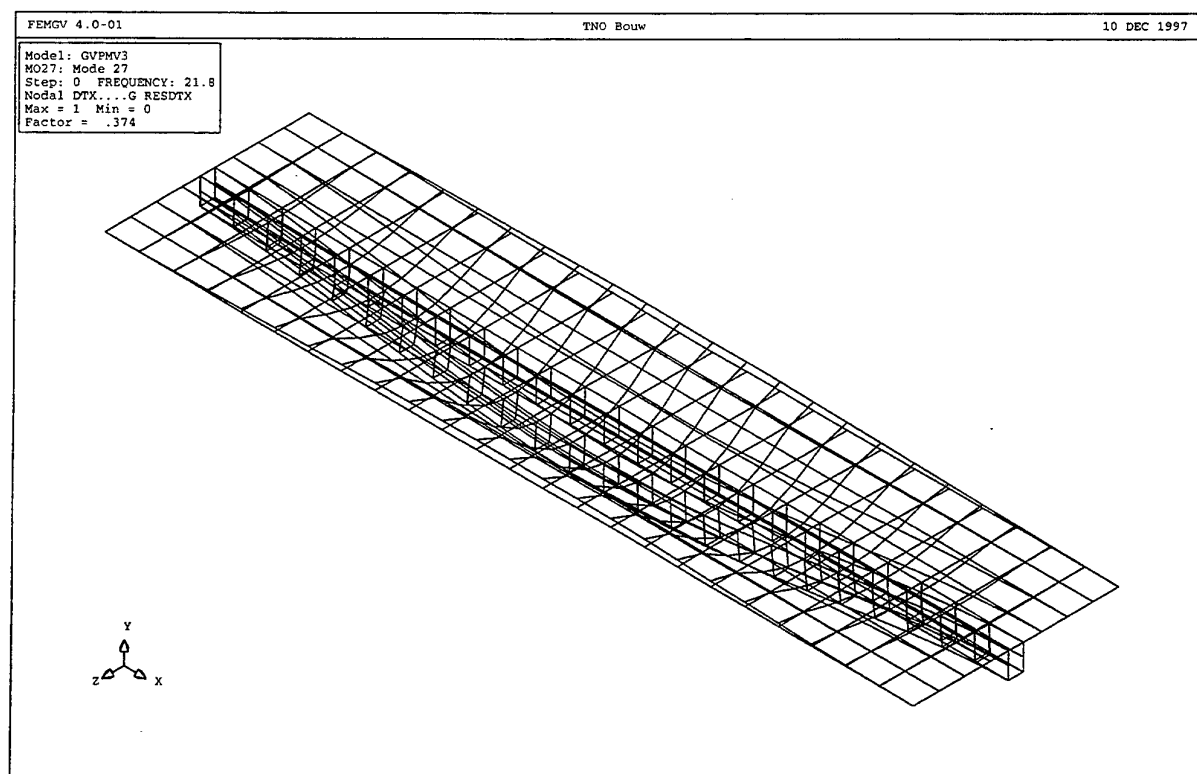


Fig 64. GVP deksectie. Massaverdeling 3. Mode 27; 21.8 Hz.

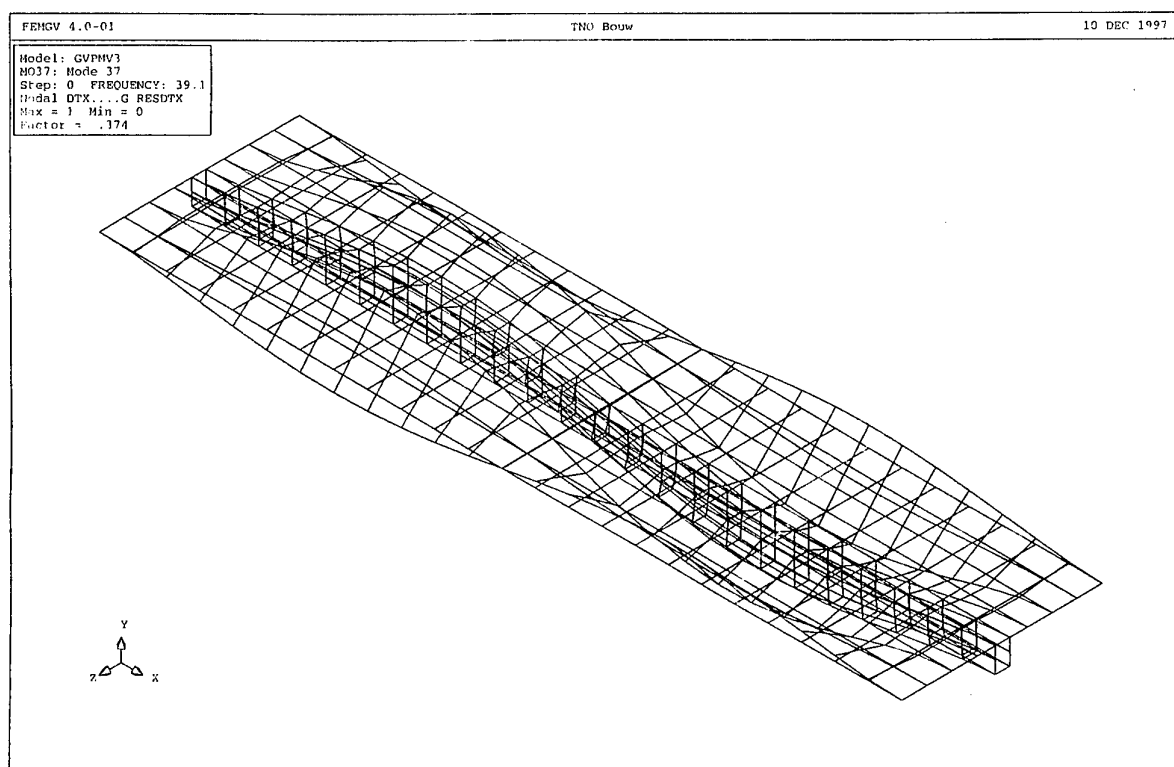
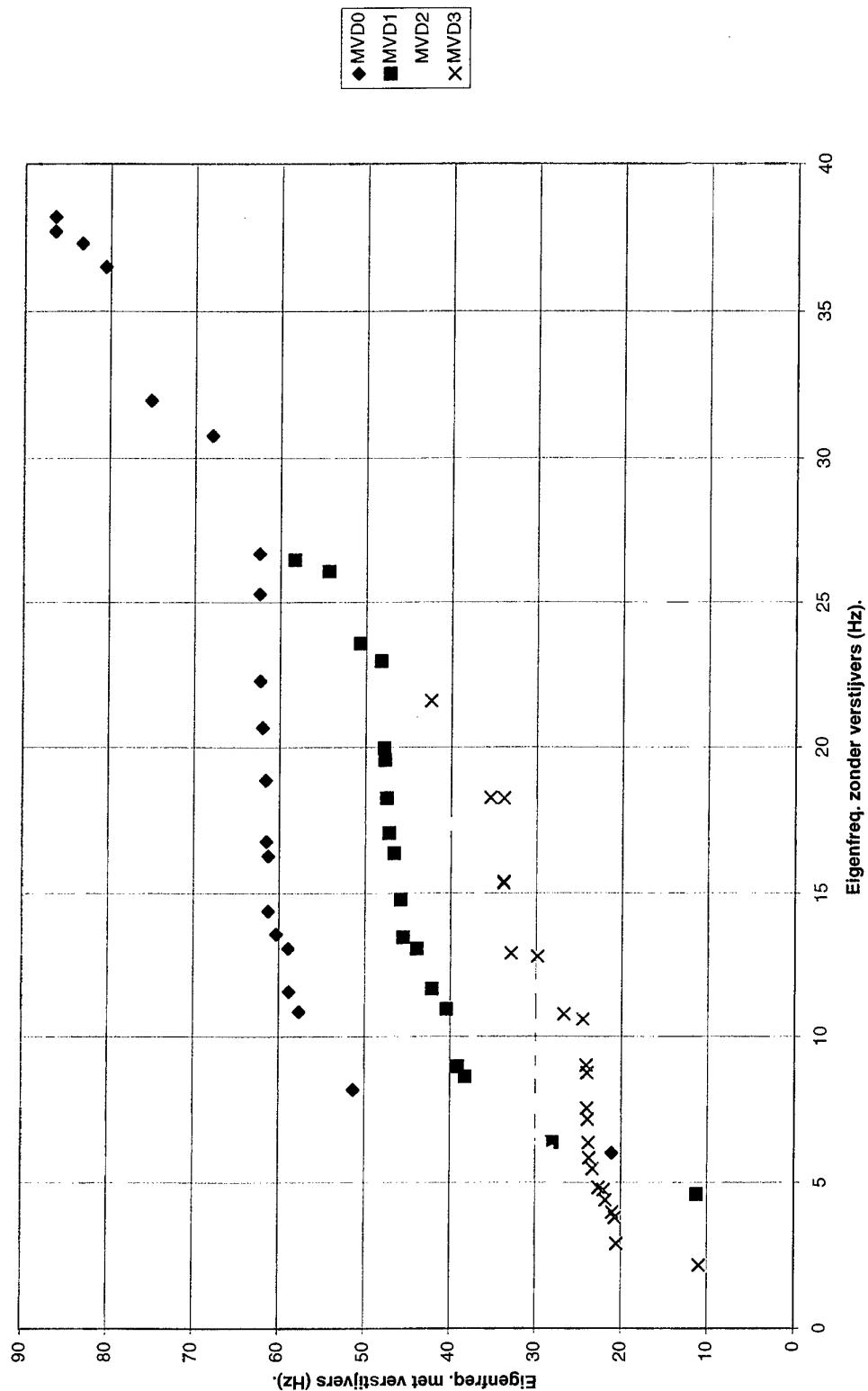


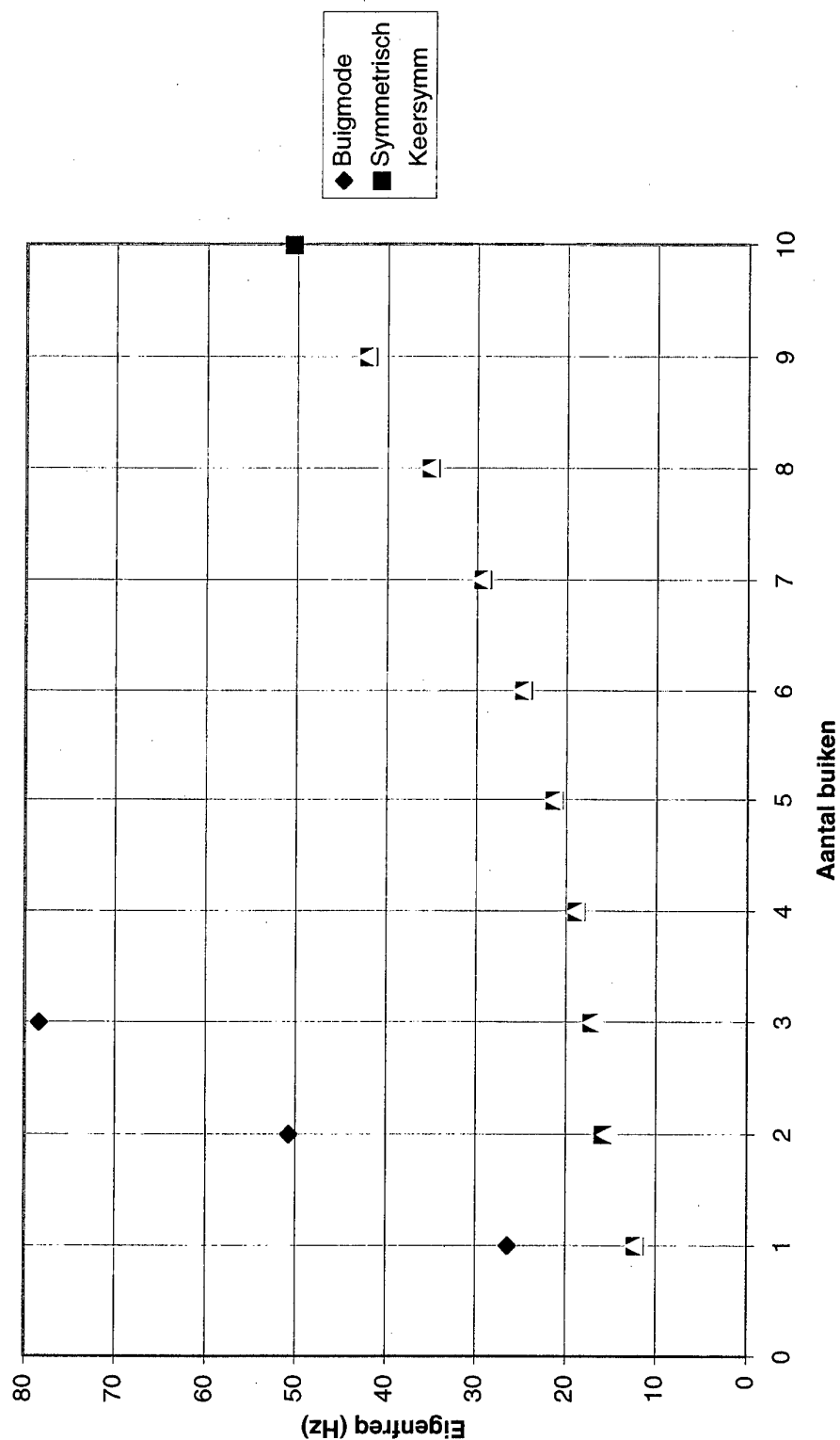
Fig 65. GVP deksectie. Massaverdeling 3. Mode 37; 39.1 Hz.

Fig 66. Invloed van langverstijvers op de stalen dekstrook.



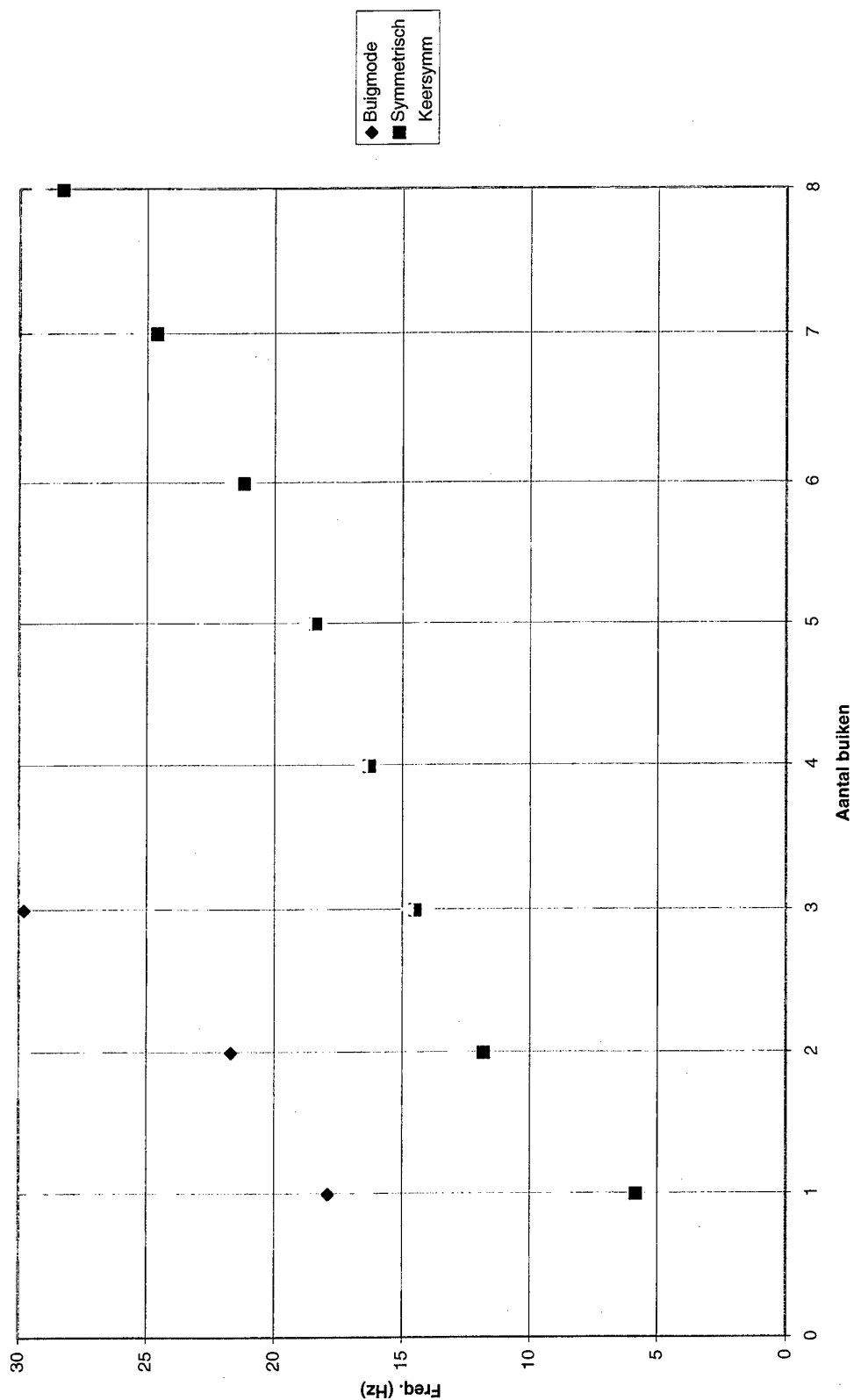
Sheet4

Fig 67. GVP-dekstrook; Massaverdeling 0.



Page 1

Fig 68. GVP-dekstroom; Massaverdeling 1.



Sheet6 Chart 1

Fig 69. GVP-dekstroom; Massaverdeling 2

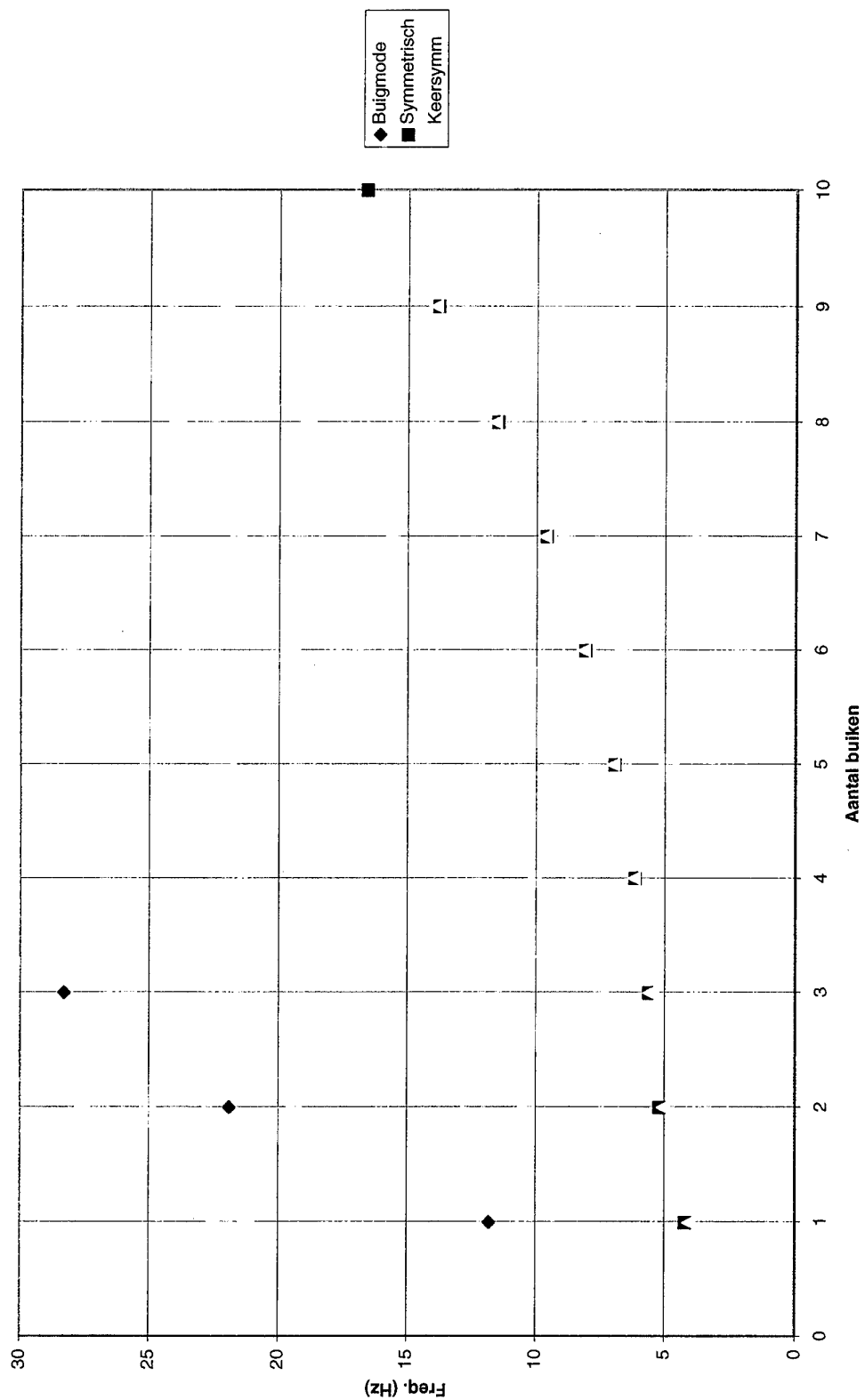
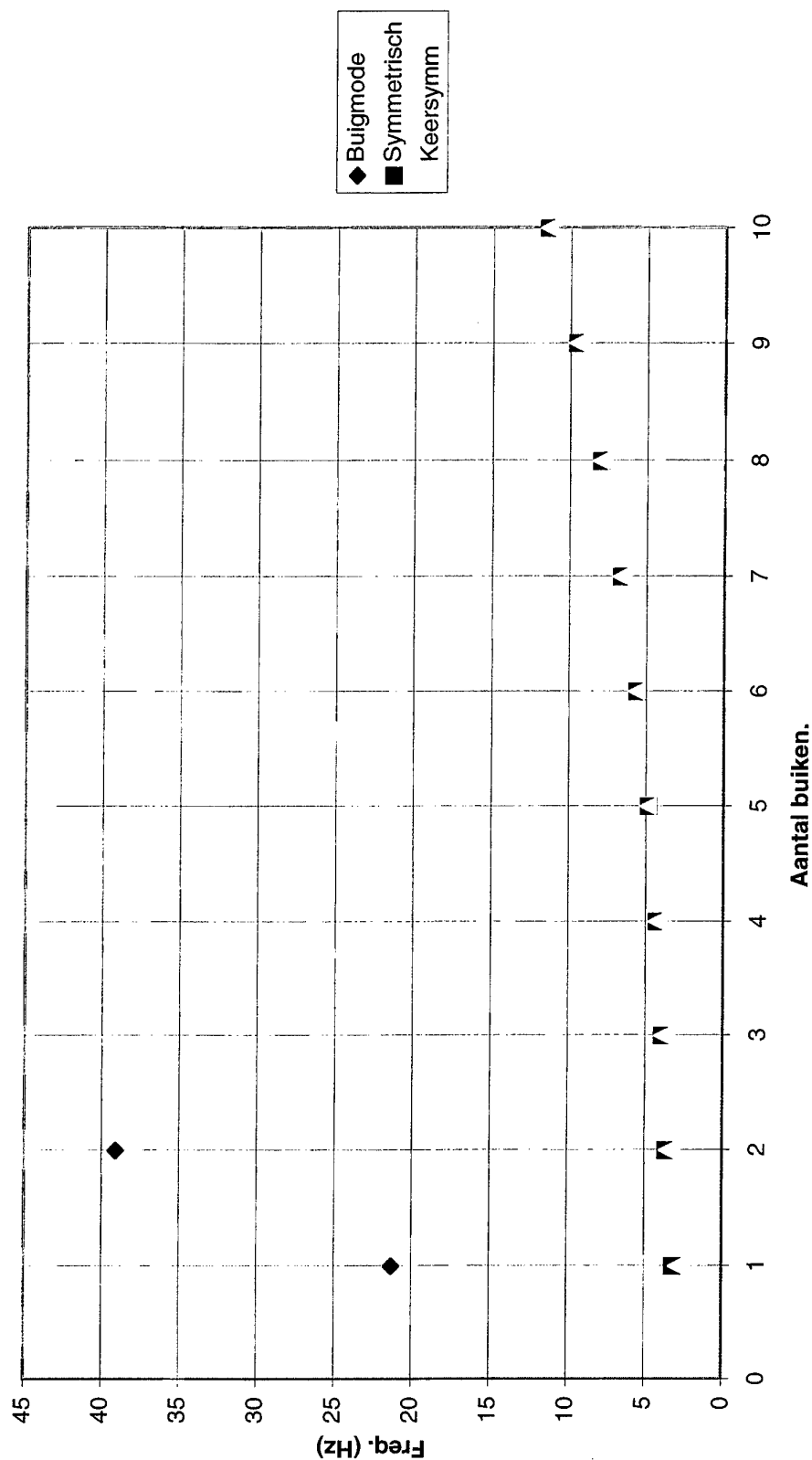
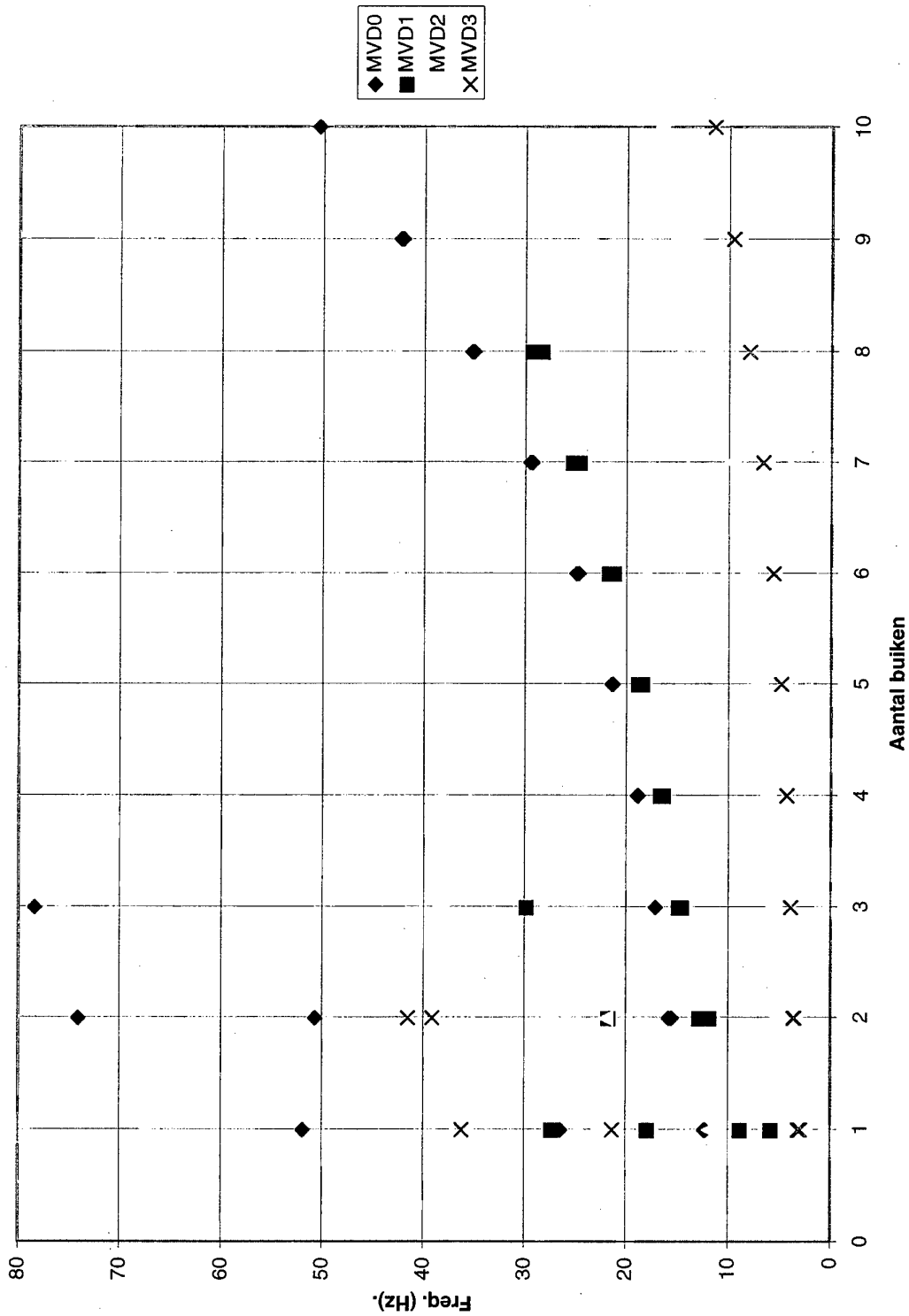


Fig 70. GVP-dekstroom; Massaverdeling 3.



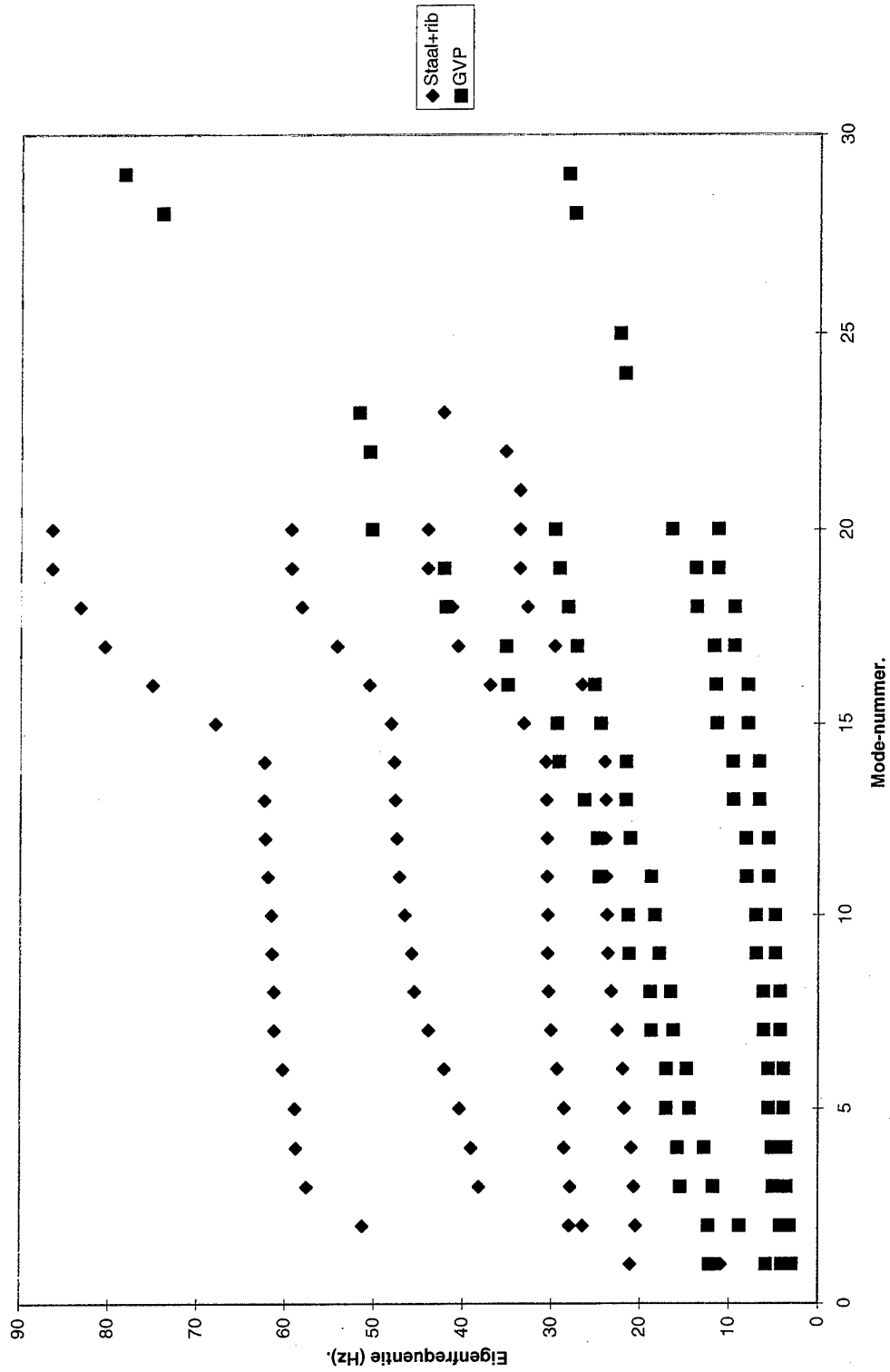
Sheet8

Fig 71. GVP: Massaverdelingen (MVD's).



Page 1

Fig 72. Vergelijking Staal (met langverslijvers) en GVP; diverse MVD's.



LITERATUUR.

- [1] ir. R. Regoord
Schokreductie d.m.v. flexibele kunststof scheepsdekken
(punt van onderzoek in 1997 in het kader van het meerjarenproject Schokreductie;
A95/KM/131).
Versie 2, 23-4-1997
- [2] ir. R. Regoord
Schokreductie d.m.v. zwevende vloeren.
TNO rapport 95-CMC-R1243.
- [3] ir. R. Regoord, ing. P. Tegelaar
Berekening en meting van rekken in een balk van glasvezel versterkt polyester
TNO-IWECO rapport 5071025-79-1 April 1979.
- [4] ing. P. Tegelaar
Bepaling van de glijdingsmodulus van GVP met behulp van een G-frame.
TNO-IWECO rapport 5072020-79 Juli 1979.
- [5] Project Kustmijnenveger. Structural Design Specification.
Juni 1988.
- [6] ir. R. Regoord
Vibration analysis of the midship compartment of a glass reinforced polyester minehunter.
TNO Iweco report 5071007-78-1 February 1978
- [7] ir. R. Regoord
Schokbestendigheid van met glasvezel gewapende kunststof scheepsrompen.
(Literatuurstudie)
TNO Iweco report 11244/1 February 1975.
- [8] ir. W. Trouwborst
Transmissie van schok, responsieberekening van een compartiment van een fregat.
TNO rapport 94-CMC-R1365 November 1994.
- [9] R.D. Blevins
Formulas for natural frequency and mode shape.
Robert E. Krieger Publishing Company, Reprint edition 1986

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL) TD 98-0093	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER 93-CMC-R0318
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 2773306	5. CONTRACT NUMBER A95/KM/131	6. REPORT DATE 16 january 1998
7. NUMBER OF PAGES 67	8. NUMBER OF REFERENCES 9	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Interim report FINAL
10. TITLE AND SUBTITLE Schokreductie door middel van flexible kunststof scheepsdekken. Deelproject 1: De flexibiliteit van kunststof versus stalen dekken; trilvormen.		
11. AUTHOR(S) J.M.J. Oostvogels R. Regoord		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) Centre for Mechanical Engineering Schoemakerstraat 97 2628 VK DELFT, The Netherlands		
13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESSES(S) Sponsor: Netherlands Ministry of Defence, Royal Netherlands Navy Monitoring agency: TNO Defence Research, Schoemakerstraat 97, 2628 VK DELFT, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The Centre for Mechanical Engineering is part of TNO Building and Construction Research		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTES) The superstructure of future naval ships might be built from glass reinforced polyester. Then the question arises if such flexible ship decks offer much shock reduction, that normal shock mountings in between the deck and equipment are no longer necessary. The present report compares vibration modes of typical decks built from steel and from GRP for various loading conditions. This as a starting point for a shock response analysis.		
16. DESCRIPTORS naval ship deck glass reinforced polyester		IDENTIFIERS vibration mode natural frequency finite element method
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Unlimited distribution / subject to approval MOD		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

DISTRIBUTIELIJST RAPPORT 98-CMC-0318

Instituut: TNO Bouw CMC

Project A95/KM/131

DWOO	1
HWO-Centrale Organisatie	(B)
HWO-KM	1
HWO-KL	(B)
HWO-Klu	(B)
Projectleider DMKM, ir J.A.A. Vaders	5
Archief afdeling MT/MMT	1
Bureau TNO-DO	1
TNO-Centrum voor Mechanische Constructies	6
Bibliotheek KMA	3

(B) = Beperkt rapport